

UNIVERSIDADE DE LISBOA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



## **Dinâmica de sistemas praia-duna do litoral de Almada**

Daniela Rodrigues do Nascimento

**Mestrado em Geologia do Ambiente, Riscos Geológicos e Ordenamento do Território**

Dissertação orientada por:  
Professor Doutor César Freire de Andrade  
Professora Doutora Maria da Conceição Freitas

## **Agradecimentos**

Nesta página agradeço a todos os que estiveram presentes e contribuíram para a concretização deste trabalho.

Em primeiro lugar, queria agradecer aos meus orientadores, Professor Doutor César Andrade e Professora Doutora Maria da Conceição Freitas, pelo vosso apoio nesta decisão importante, pela vossa orientação e todos os conhecimentos transmitidos. Para além de orientadores, foram professores que ao longo do meu percurso académico sempre tive grande admiração, respeito e carinho.

Queria expressar os meus agradecimentos à Mestre Ana Bastos, pelas idas ao campo, pela disponibilidade e preocupação, por todas as palavras amigas e motivadoras e todas as explicações que contribuíram para a concretização deste trabalho.

Devo um especial agradecimento ao Prof. Dr. Fernando Marques pelos diversos conhecimentos transmitidos ao longo do meu percurso académico, pelo material disponibilizado para a concretização desta dissertação e claro pela sua simpatia e compreensão nesta fase da minha vida.

Agradeço à minha mãe, por sempre se demonstrar preocupada com os meus objetivos, apoiar incondicionalmente o que quero para a vida e principalmente por me ensinar a ser uma mulher lutadora e humilde. Agradeço ao meu pai pela troca de ideias que contribuíram substancialmente para este trabalho e por contrariar sempre o que digo, dificultando os meus passos, porque sem isso não me questionava sobre a vida e muito menos ganhava garra para enfrentar o futuro.

Estou grata às minhas irmãs, Sílvia e Eva, por serem das pessoas mais importantes na minha vida e por me darem impulso e motivação para tudo. Ao Nuno, pela força e orgulho que sempre demonstrou em mim e no meu trabalho. O vosso apoio é incondicional.

Às minhas amigas e colegas: Carolina Marques, Beatriz Fonseca, Cláudia Escada e Rute Fonseca, que estiveram presentes no decorrer do meu percurso e que contribuíram para o meu sucesso. Em especial à Carolina por ser a minha companheira nas alegrias, tristezas, frustrações e ambições.

Aos meus amigos agradeço pela força, preocupação e entusiasmo que sempre demonstraram no meu trabalho, como também as diversas revisões e sugestões: Ariana; Rossana; Ana; Tatiana; Beatriz, Anacilénia; Hugo e Alcir.

Agradeço ao Dr. Sérgio Bispo e à Município, S.A. pela simpatia e pelo material disponibilizado para a realização deste trabalho.

À Dr<sup>a</sup>. Patrícia Silva, da Câmara Municipal de Almada pela disponibilidade na cedência de informações importantes da área de estudo.

Devo agradecer também ao Sr. Manuel Quintela pela sua flexibilidade e compreensão que permitiram o meu sucesso.

Obrigada a todas as pessoas que contribuíram para o meu crescimento como pessoa.



## Resumo

A presente dissertação tem como principal objetivo o estudo da evolução morfológica das dunas da Costa da Caparica, através da fotointerpretação de fotografias aéreas estereoscópicas de 1942, 1980, 2011 e 2019; da sistematização e caracterização do estado de conservação das dunas (de acordo com o a percentagem de coberto vegetal) e da análise da variabilidade sazonal e tendência evolutiva das praias da Saúde, Rainha e Bela Vista, comparadas com a praia de São João da Caparica.

Em 1942, o campo dunar apresentava uma área de 2,90 km<sup>2</sup> e, de acordo com as observações efetuadas, diminuiu substancialmente para uma área 0.57 km<sup>2</sup>, em 2018. Como causa principal para esta diminuição aponta-se a florestação da Mata da Costa da Caparica, nos anos 50 e 60 do séc. XX, ocupando esta atualmente cerca de 1.90 km<sup>2</sup>. O aumento da ocupação antrópica ao longo do cordão dunar frontal, pela criação de diversas residências, apoios e equipamentos de praia, assim como os parques de campismo (0.32 km<sup>2</sup>), contribuíram para a diminuição do espaço dunar.

Ao longo de 6.3 km de comprimento de costa estudado, destaca-se o troço A, adjacente aos parques de campismo, próximo do centro urbano da Costa da Caparica, como o troço em pior estado de conservação. Este troço é caracterizado por uma percentagem de coberto vegetal era inferior a 10% em 2008 e 5% em 2019, sendo esta diminuição o reflexo da forte ocupação e pressão antrópica a que esta região é sujeita.

Para sul (troços B e C), entre a praia da Mata e o limite norte da Fonte da Telha, as condições de conservação melhoraram na generalidade, estando os segmentos com piores características associados à presença de equipamentos e bares de praia e aos acessos desordenados. Estes troços eram caracterizados pelo estado 4 de Short & Hesp (1982), em 2008, apresentando 10 anos mais tarde, melhorias no estado de conservação, tendo-se verificado uma área média vegetada superior a 50%, o que evidencia estado de conservação tipo 3.

Para além destas melhorias estarem relacionadas com a percentagem de ocupação vegetativa, também estão associadas à diversidade e abundância de espécies colonizadoras dunares, nomeadamente o fenodas-areias (*Elymus farctus*), o estorno (*Ammophila arenaria*) e o chorão da praia (*Carpobrotus edulis* - a espécie invasora). Quando avaliado o seu domínio espacial de norte para sul, as espécies colonizadoras aumentam em número, em oposição à espécie invasora, refletindo um desenvolvimento dunar para sul.

Do ponto de vista da variabilidade sazonal e da tendência evolutiva, os perfis topográficos das praias da Saúde e da Rainha apresentavam alterações ao longo de todo o seu traçado, salientando-se as variações junto ao sopé e na face barlavento da duna frontal. Nestas praias, verificou-se uma diminuição do seu volume, refletindo uma tendência erosiva, também verificada na praia de São João da Caparica. Tal não foi observado na praia da Bela Vista, que apresentava alterações na face de praia e berma, retratando uma situação de estabilidade interanual.

Para atenuar os efeitos das ações antrópicas e naturais, foram efetuadas intervenções de recuperação do sistema dunar na praia da Mata, localizada imediatamente a sul dos parques de campismo, nos anos 2012 e 2015, no âmbito do projeto Agenda 21 e ReDuna, respetivamente. A duna da Praia da Mata apresentou uma tendência geral para acumulação, tendo desde 2008 acrescido um volume global superior a 16 500 m<sup>3</sup> na totalidade da duna e, na área intervencionada (que representa 27% da superfície total), esse aumento foi de 6100 m<sup>3</sup>, indicando uma taxa de acumulação anual por unidade de superfície superior a 1.3 vezes na área intervencionada.

A maioria destes sedimentos acumulou-se após as primeiras intervenções, uma vez que, a partir de 2012, a duna foi classificada como área restrita. Atualmente verifica-se que as retenções de areia colocadas se encontram praticamente soterradas, tornando-se nula a sua eficácia.



De um modo geral, a evolução das dunas está intimamente relacionada com o aumento da população residente e visitante na região, principalmente na época estival, uma vez que a pressão atópica contribui para a degradação dos ecossistemas costeiros, nomeadamente os sistemas dunares.

Também o estado de degradação das dunas poderá estar relacionado com a tendência erosiva a qual, em conjunto com a variabilidade morfodinâmica sazonal, impede o desenvolvimento de dunas embrionárias e a regeneração da duna frontal.

Assim, o modelo atual de ocupação do território da região sul da Costa da Caparica, promove a degradação e destruição das dunas, tendo sido recomendadas algumas intervenções no sentido de recuperar as dunas, principalmente nos segmentos adjacentes ao parque de campismo e nos locais desprovidos de vegetação, cuja afluência de veraneantes é significativa.

*Palavras-chave:* Evolução morfológica, conservação dunar, Projeto Agenda 21, duna da Praia da Mata, tendência erosiva, Costa da Caparica.



## Abstract

This dissertation presents the study results of the morphological evolution of Costa da Caparica dunes, through the photointerpretation of stereoscopic aerial photographs of 1942, 1980, 2011 and 2019; and in the systematization and characterization of the conservation status of the dunes (according to the percentage of vegetation cover) and the analysis of the seasonal variability and evolutionary trend of the beaches of Saúde, Rainha and Bela Vista, compared with the beach of São João da Caparica.

In 1942, the dune field had 2.90 km<sup>2</sup> of area, and according to the observations, it decreased substantially to 0.57 km<sup>2</sup> in 2018. One of the main causes for this reduction was the creation of the forest area Mata da Costa da Caparica, during the 50s and 60s, which currently occupy around 1.90 km<sup>2</sup>. In addition, the increase in anthropic occupation along the foredune; the creation of a housing stock area, beach equipment and the campsites (0.32 km<sup>2</sup>) contributed to the dune space decrease.

Along the 6.3 km of coastline studied, the section A, which is closer to the urban center of Costa da Caparica, adjacent to the campsites, presents the worst state of conservation; the percentage of vegetation cover was less than 10% in 2008 and 5% in 2018, reflecting the strong anthropic pressure that this region is subject to.

In the south (section B and C), between Praia da Mata and the northern limit of Fonte da Telha, conservation conditions have improved, the segments with the worst characteristics are related to the presence of beach equipment, bars and non-planned accesses. These sections were characterized by 4<sup>th</sup> stage of Short & Hesp (1982), in 2008, 10 years later it is possible to verify improvements in the conservation state, with a vegetated area over 50%, which shows a state 3 of conservation.

In addition to these improvements related to the percentage of vegetative occupation, they are also associated with the diversity and abundance of dune colonizing species. Analyzing the main species in the study area, the colonizing species were *Elymus farctus* and *Ammophila Arenaria*, and *Carpobrotus edulis* (the invasive species). When assessing their spatial domain from north to south, colonizing species increase in number, as opposed to the invasive species, reflecting a dune development towards south.

From the point of view of the seasonal variability and evolutionary trend, three representative beaches of the coastal section to the south of the urban center were studied: Praia da Saúde, Rainha and Bela Vista, compared to São João da Caparica beach. The topographic profiles of the beaches of Saúde and Rainha showed changes along their entire route, with emphasis on the variations near dune foot and the stoss face of the dune. In these beaches, there was a decrease in their volume, reflecting an erosive trend, also seen in the beach of São João da Caparica. This was not observed at Praia da Bela Vista, which showed changes in the beach face and berm, portraying a situation of interannual stability.

To mitigate the effects of anthropic and natural actions, interventions were carried out to recover the dune system at Praia da Mata, located immediately south of the campsites, in the years 2012 and 2015, under the Agenda 21 and ReDuna project, respectively. The Praia da Mata dune showed a general tendency towards accumulation, having added an overall volume of more than 16,500 m<sup>3</sup> since 2008 in the entire dune and, in the intervention area (which represents 27% of the total area), this increase was 6100 m<sup>3</sup>, indicating an annual accumulation rate per unit area greater than 1.3 times in the intervention area.

Most of these sediments were accumulated after the first interventions; from 2012 onwards, the dune was classified as a restricted area. Nowadays, we can verify the dune fences are nearly buried, making their effectiveness null.

These results were compared with similar interventions carried out on the dune of São João da Caparica beach, located north of the urban center of Costa da Caparica. Comparing the intervention in this place with the ones in Praia da Mata, the result was equivalent, with most of the volume added in windward side face of the dune.

In general, the evolution of the dunes is related to the increase in the resident and visiting population in the region, especially in the summer season, since the anthropic pressure contributes to the degradation of coastal ecosystems, namely the dune systems.

Also, the state of degradation of the dunes may be related to the erosive trend which, together with the seasonal morphodynamic variability, prevents the development of embryonic dunes and the regeneration of the foredune.

Thus, the current model of occupation of the territory of the southern region of Costa da Caparica, promotes the degradation and destruction of the dunes, so some interventions were recommended in order to recover the dunes, especially in the segments adjacent to the campsite and in places without vegetation, where the influx of vacationers is significant.

*Keywords:* Geomorphological evolution, dune conservation, Project Agenda 21, Praia da Mata dune, erosive trend, Costa da Caparica.



## Índice

Agradecimentos.....	I
Resumo.....	III
Abstract .....	VI
Índice.....	IX
Índice de Figuras .....	XI
Índice de Tabelas.....	XV
Lista de Abreviaturas e siglas.....	XVI
1. Introdução.....	1
1.1. Objetivos da dissertação e relevância do tema .....	3
1.2. Estrutura de dissertação.....	4
2. Caracterização do local de estudo .....	5
2.1. Enquadramento geográfico.....	5
2.2. Enquadramento geológico .....	6
2.3. Enquadramento geomorfológico .....	8
2.4. Enquadramento mesológico, meteorológico e oceanográfico .....	10
2.5. Formação e evolução da planície litoral.....	11
2.6. Ocupação do espaço costeiro .....	16
3. Dunas costeiras: classificação, vegetação, degradação e recuperação .....	20
3.1. Classificação dunar.....	21
3.2. Estado de conservação das dunas .....	24
3.3. Vegetação dunar .....	26
3.4. Degradação dos sistemas dunares .....	29
3.5. Preservação e recuperação dos sistemas dunares .....	30
4. Metodologia.....	34
4.1. Trabalho de campo .....	34
4.1.1. Levantamento topográfico da duna da praia da Mata e de praias a sul da Caparica .....	34
4.1.2. Amostragem de sedimentos.....	35
4.2. Trabalho de laboratório .....	36
4.2.1. Granulometria dos sedimentos .....	36
4.3. Trabalho de gabinete .....	36
4.3.1. Evolução morfológica da área de estudo.....	36
4.3.2. Avaliação do estado de conservação do cordão dunar frontal.....	38
4.3.3. Evolução morfológica da duna da praia da Mata .....	40
4.3.4. Variabilidade sazonal e tendência evolutiva das praias.....	40

5. Resultados e discussão .....	42
5.1. Sedimentos .....	42
5.2. Evolução morfológica da área de estudo.....	43
5.2.1. Imagem de 1942 .....	44
5.2.2. Imagem de 1980 .....	45
5.2.3. Imagem de 2011 .....	46
5.2.4. Imagem de 2018 .....	47
5.2.5. Síntese da evolução morfológica.....	48
5.3. Avaliação do estado de conservação do cordão dunar frontal.....	49
5.3.1. Densidade de vegetação, morfologia e ocupação .....	49
5.3.2. Tipo de vegetação.....	55
5.4. Evolução da duna da praia da Mata e avaliação do desempenho de uma estrutura de retenção de areia .....	60
5.4.1. Distribuição espacial da erosão e da acreção.....	60
5.4.2. Variação volumétrica e balanço sedimentar .....	68
5.5. Variabilidade sazonal e tendência evolutiva das praias a sul da Caparica .....	72
Conclusões e recomendações .....	78
Referências bibliográficas .....	81
Anexos.....	88
Anexo 1. Evolução da faixa costeira segundo Freire (1989).....	88
Anexo 2. Fatores ambientais e adaptação das plantas no sistema dunar .....	90
Anexo 3. Parâmetros granulométricos dos sedimentos das praias a sul da Caparica.....	91
Anexo 4. Fotografias aéreas e respetivos mapas morfológicos.....	95
Anexo 5. Classificação automática da vegetação no cordão dunar frontal .....	103
Anexo 6. Evolução da praia da Mata .....	107
Anexo 7. Modelos Digitais de Terreno da praia da Mata.....	108
Anexo 8. Balanço Sedimentar da duna da praia da Mata .....	111
Anexo 9. Perfis topográficos .....	113
Anexo 10. Volume de praia nas praias a sul da Caparica .....	116

## Índice de Figuras

Figura 2.1 - Enquadramento geográfico da área de estudo. A - Portugal continental e o seu litoral (adaptado de Duarte Santos <i>et al.</i> , 2014). B - Concelho de Almada, enquadrado no distrito de Setúbal. C - Área de estudo (polígono a laranja) e toponímia das praias.....	5
Figura 2.2 - Enquadramento geológico do concelho de Almada. Fonte: Freitas <i>et al.</i> (2011) e Folha 34-D Lisboa da Carta Geológica de Portugal na escala 1:50 000.....	7
Figura 2.3 - Esquema das unidades geomorfológicas do litoral do Arco Caparica-Espichel. Fonte: FCUL/CG & CMA/DEGAS, 2012. ....	9
Figura 2.4 - Johannis Van Keulen – 1680. Fonte: Freire, 1989. ....	11
Figura 2.5 - Atlas Universal de M. Robert datado de 1751. Fonte: Freire, 1989. ....	11
Figura 2.6 - Carta de origem holandesa da região da Costa da Caparica no ano de 1583. Fonte: Pais, 1992.....	12
Figura 2.7 - “Plan du Port de Lisbonne et des cotes voisines” do ano de 1756. Fonte: Pais, 1992.....	12
Figura 2.8 - Carta topográfica militar do terreno da Península de Setúbal, levantada em 1813-1815. Fonte: Pais, 1992.....	12
Figura 2.9 - Mapa de 1720, elaborado por Michelot e Bremond e intitulado por "Les côtes du Portugal et Barbarie". Fonte: Freire, 1989.....	13
Figura 2.10 - Plan du Port de Lisbonne, elaborado por M. Belin em 1756. Fonte: Freire, 1989. ....	13
Figura 2.11 - Mapa topográfico da embocadura do rio Tejo de 1810, de William Chapman. Fonte: Freire, 1989.....	14
Figura 2.12 - Plano hidrográfico de Lisboa de 1929. Fonte: Freire, 1989. ....	14
Figura 2.13 - Planos hidrográficos de Lisboa de 1939. Fonte: Freire, 1989. ....	15
Figura 2.14 - Célula sedimentar N°4: Balanço sedimentar na situação atual: Fonte: Duarte Santos <i>et al.</i> , 2014.....	15
Figura 2.15 - Fotografia aérea do centro urbano da Costa da Caparica, entre 1930 e 1932. Fonte: Núcleo Fotográfico do Arquivo Municipal de Lisboa <i>in</i> Granadeiro, 2014.....	16
Figura 2.16 - Perfil praia-duna em 1957, 1963 e 1964. Fonte: Veloso-Gomes & Pinto, 2003. ....	18
Figura 2.17 - Evolução da linha de costa entre 1947 e 1980 efetuada com base em fotografia aérea. Fonte: Freire, 1989.....	18
Figura 3.1 - Processo de formação de depressões interdunares (Adaptado de Bird, 2001).....	23
Figura 3.2 - Melhor estado de conservação - estado 1 de Hesp, 1988. ....	24
Figura 3.3 - Estado de conservação 2 do Hesp, 1988.....	24
Figura 3.4 - Estado de conservação 3, o mais comum das dunas frontais (Hesp, 1988).....	25
Figura 3.5 - Dunas frontais com presença de blowouts, caracterizadas como o quarto estado de conservação de Hesp, 1988. ....	25
Figura 3.6 - Pior estado de conservação das dunas frontais – estado 5 (Hesp, 1988). ....	25
Figura 3.7 - Principais fatores abióticos a que as dunas estão sujeitas ao longo do perfil mar-terra. ...	27
Figura 3.8 - Processo de reconstrução dunar. Adaptado de arqOUT.pt, 2014. ....	31
Figura 3.9 - Estrutura ideal de alocação do espaço dunar em sistemas costeiros com dunas segundo Carter, 1991.....	32
Figura 4.1 - Locais de amostragem. FP - Face de Praia, B - Berma, D - Duna.....	35
Figura 4.2 - Fluxograma da metodologia aplicada para a avaliação da vegetação no cordão dunar frontal. ....	38
Figura 4.3 - Mosaico elaborado com as fotografias aéreas de 2018 (Município, S.A.). ....	39
Figura 4.4 - Classificação do cordão dunar frontal sobre o mosaico de 2018 com o realce da vegetação na duna da praia da Mata.....	39
Figura 4.5 - Representação esquemática do perfil de uma praia e do prisma correspondente para o cálculo do volume das praias. ....	41



Figura 5.1 - Tipos de dunas costeiras. (Bird, 1990 <i>in</i> Seoane <i>et al.</i> , 2007).....	45
Figura 5.2 - Parques de campismo contíguos, na região sul da Costa da Caparica, ilustrando a ocupação de antigo território dunar, com obliteração total da morfologia original, nomeadamente do cordão dunar frontal. ....	47
Figura 5.3 - Síntese da ocupação dos principais elementos morfológicos que levaram à perda de área do campo de dunas ao longo dos anos. ....	49
Figura 5.4 - Diagramas circulares correspondentes à distribuição dos estados de conservação, por troços, nas imagens de 2008 e 2018.....	50
Figura 5.5 - Representação da distribuição da percentagem de coberto vegetal por transectos ao longo do troço de costa analisado.....	50
Figura 5.6 - Troço A, entre a Nova Praia e o norte da Praia da Mata, classificado com o estado 5 - pior estado de conservação do edifício dunar frontal. ....	51
Figura 5.7 - - Duna secundária da praia da Saúde, com destaque para as principais origens de atividade antrópica. Imagem de 6 de Agosto de 2019. ....	51
Figura 5.8 - Troço B, entre a Praia da Mata e a Praia da Cabana do Pescador. ....	52
Figura 5.9 - Troço C, entre a Praia da Princesa e o limite norte da Fonte da Telha. Destaque para o transecto com melhores características de conservação (seta a branco).....	53
Figura 5.10 - Localização da zona intervencionada a sul da praia da Bela Vista, com o segmento com melhores características de conservação apresenta (polígono a preto). ....	53
Figura 5.11 - Troço que exhibe melhor estado de conservação a 5,3 km do início da área de estudo. ....	54
Figura 5.12 - Duna da Nova Praia (22 de junho de 2019). A- Lírío-das-praias; B – Cardo marítimo; C – <i>Cyperus capitatus</i> . ....	55
Figura 5.13 - Duna entre a Nova Praia e a da Saúde, com destaque para o entulho sobre a duna e a presença de vegetação exótica – Chorão-da-praia (22 de junho de 2019). ....	55
Figura 5.14 - Duna da praia da Saúde (6 de agosto de 2019). A – Chorão-da-praia; B- Eruca-marítima; C – Cardo-marítimo.....	56
Figura 5.15 - Crista da duna frontal da praia da Mata (17 de julho de 2019 – Ana Bastos). ....	56
Figura 5.16 - Duna da praia da Mata (17 de junho de 2019). A - Estorno; B - <i>Cyperus capitatus</i> ; C – Lírío-das-areias; D – Goivo-da-praia. ....	57
Figura 5.17 - Duna frontal da praia da Rainha, colonizada por espécies exóticas – neste caso– Chorão-da-praia.....	57
Figura 5.18 - Duna embrionária da praia da Rainha, com feno-das-areias e couve marinha. ....	57
Figura 5.19 - Duna da praia da Bela Vista. A – Feno das areias; B - Morganheira-das-praias; C – Cardo-marítimo; D – Estorno. ....	58
Figura 5.20 - Exemplo de Erva-lombrigueira na duna da praia da Bela Vista. ....	58
Figura 5.21 - Mancha de cordeiros-da-praia na duna da praia da Bela Vista.....	58
Figura 5.22 - Duna da praia da Mata: imagem satélite GoogleEarth® de 27 de junho de 2007.....	60
Figura 5.23 - Região sul da duna da Praia da Mata, com lixo na base da vertente barlavento.....	60
Figura 5.24 - Imagem satélite GoogleEarth® de 18 de agosto de 2014.....	61
Figura 5.25 - Painel informativo junto ao acesso à praia da Mata. ....	61
Figura 5.26 - Imagens do Google Earth®. A: 1 de abril de 2015 – intervenções de 2012 (projeto Agenda 21) parcialmente soterradas; B: 6 de agosto de 2015 - Expansão significativa de palçadas na duna da praia da Mata.....	62
Figura 5.27 - Palçadas parcialmente soterradas no interior do corpo dunar frontal. ....	62
Figura 5.28 - - Localização dos perfis topográficos transversais e longitudinal na duna da praia da Mata, indicando-se também o perímetro da zona intervencionada. ....	63
Figura 5.29 - Perfil longitudinal NW-SE da duna da praia da Mata em diferentes momentos. Localização na Figura 5.28.....	64

Figura 5.30 - Perfis topográficos transversais da duna da praia da Mata em diferentes momentos.....	65
Figura 5.31 - Distribuição espacial das diferenças de elevação (m) entre os levantamentos de 2011 e 2008.....	66
Figura 5.32 - Distribuição espacial das diferenças de elevação (m) entre os levantamentos de 2014 e 2011.....	66
Figura 5.33 - Distribuição espacial das diferenças de elevação (m) entre os levantamentos de 2019 e 2014.....	67
Figura 5.34 - Distribuição espacial das diferenças de elevação (m) entre os levantamentos de 2019 e 2008.....	68
Figura 5.35 - Representação gráfica do volume acima da cota 3 m na zona intervencionada. ....	70
Figura 5.36 - Localização dos perfis de referência e das respetivas cabeças de perfil que serviram de base para a realização dos distintos perfis topográficos ao longo dos anos. ....	72
Figura 5.37 - Perfis topográficos da praia da Saúde, levantados desde março de 2011 a outubro de 2019. A tracejado estão representados os perfis de inverno enquanto os perfis de verão estão apresentados por linhas contínuas. ....	73
Figura 5.38 - Perfis topográficos da praia da Rainha desde março de 2011 até outubro de 2019. A tracejado estão representados os perfis de inverno enquanto os perfis de verão estão apresentados por linhas contínuas. ....	74
Figura 5.39 - Perfis topográficos da praia da Bela Vista desde março de 2015 até outubro de 2019. A tracejado estão representados os perfis de inverno enquanto os perfis de verão estão apresentados por linhas contínuas. ....	74
Figura 5.40 - Variação do volume da praia da Saúde ao longo do tempo.....	75
Figura 5.41 – Variação do volume da praia da Rainha ao longo do tempo.....	75
Figura 5.42 – Variação da praia da Bela Vista ao longo do tempo. ....	76
Figura 5.43 - Representação gráfica da variação da retenção volumétrica no perfil PCC6 da praia de São João da Caparica entre junho de 2007 e outubro de 2019 (dados obtidos no projeto CISML e monitorização efetuada em projetos de colaboração entre o DIACS – Município de Almada e o Departamento de Geologia da FCUL.....	76



## Índice de Tabelas

Tabela 3.1 - Representação esquemática das principais classificações de dunas formadas em ambientes desérticos e costeiros (McKee (1979), Hesp (2002), Branco <i>et al.</i> (2003) e Seoane <i>et al.</i> (2007). Ilustrações em NPS.gov. (2020) e McKee (1979)).	21
Tabela 3.2 - Vegetação comum nos sistemas dunares costeiros, distribuição espacial e características relevantes.	26
Tabela 4.1 - Coordenadas planimétricas ( <i>Easting, Northing</i> ) e elevação do ponto de referência (cota (NMM)) em unidades métricas.	35
Tabela 4.2 - Coordenadas planimétricas ( <i>Easting, Northing</i> ) em unidades métricas da cabeça do perfil da praia da Saúde, Rainha e da Bela Vista.	41
Tabela 5.1 - Síntese de resultados da granulometria dos sedimentos de praia e duna.	43
Tabela 5.2 - Síntese da ocupação dos principais elementos morfológicos que levaram à perda de área do campo de dunas ao longo dos anos.	48
Tabela 5.3 - Proporção de superfície ocupada por vegetação em ambos os anos analisados.	50
Tabela 5.4 - Magnitude da erosão e acumulação e taxa de acumulação anual líquida ( $m^3/ano$ ) na totalidade do edifício dunar.	68
Tabela 5.5 - Magnitude da erosão e acumulação e a taxa de acumulação anual líquida ( $m^3/ano$ ) na zona intervencionada.	68
Tabela 5.6 - Volume de duna intervencionada e total determinado acima da cota +3 mm (NMM).	70

## **Lista de Abreviaturas e siglas**

APA – Agência Portuguesa do Ambiente  
AML – Área Metropolitana de Lisboa  
CAOP – Carta Administrativa Oficial de Portugal  
CG – Centro de Geologia  
CMA – Câmara Municipal de Almada  
CISML – Criação e Implementação de um Sistema de Monitorização do Litoral arenoso  
DGT – Direção Geral do Território  
DEGAS - Departamento de Estratégia e Gestão Ambiental Sustentável  
DIACS - Departamento de Inovação, Ambiente, Clima e Sustentabilidade do Município de Almada  
DPM – Domínio Público Marítimo  
E – este  
ENGIZC – Estratégia Nacional de Gestão Integrada da Zona Costeira  
ETRS89 / PT-TM06 – European Terrestrial Reference System 1989 / Portuguese Transverse Mercator Projection de 2006  
EQM – Erro médio quadrático  
FAP - Força Aérea Portuguesa  
FCUL – Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa  
GNR – Guarda Nacional Republicana  
GTL – Grupo de Trabalho do Litoral  
Km - quilómetros  
LiDAR – Light Detection And Ranging  
LMPMAVE - Linha de máxima preia-mar de águas vivas equinociais  
LNEC – Laboratório Nacional Engenharia Civil  
MDT – Modelo Digital de Terreno  
N- norte  
NMM – Nível Médio do Mar  
POOC – Plano de Ordenamento da Orla Costeira  
POC – Programas da Orla Costeira  
S – sul  
SIG – Sistema de Informação Geográfica  
SPLAL - Sociedade Portuguesa de Levantamentos Aéreos, Lda  
TIN – Triangular Irregular Networks  
USAF – United States Air Force  
W – oeste  
ZH – Zero Hidrográfico  
ReNEP - Rede Nacional de Estações Permanentes



## 1. Introdução

A concentração populacional, económica e de centros de decisão política no litoral aumentou nas últimas décadas (Ferreira & Laranjeira, 2000). Cerca de um terço do litoral de Portugal continental encontra-se ocupado (Andrade *et al.*, 2006), sem se considerar que esta zona costeira é um dos ambientes mais mutáveis da superfície terrestre (Carter, 1988).

Este fenómeno de litoralização provocou uma sobrecarga dos sistemas costeiros, com o aumento das atividades económicas e agravado pelo turismo intensivo. Apesar da ocupação humana nos litorais ser um fenómeno antigo, a evolução drástica nas últimas décadas marca a perda da biodiversidade, um aumento da artificialização do litoral e consequentemente a degradação da zona costeira.

A proteção da zona costeira, o seu uso adequado e as respetivas monitorizações devem estar na consciência dos especialistas, políticos e dos seus moradores e visitantes. A falta de consciencialização das transformações ambientais e geomorfológicas leva à desconsideração de um desenvolvimento sustentável do espaço costeiro.

Os sistemas dunares são dinâmicos e vulneráveis à ação natural e antrópica a que são sujeitos (O'Connell, 2008), pelo que, na sua generalidade, apresentam um elevado grau de degradação, até mesmo em regiões ditas conservadas (Carter, 1991; García-Mora *et al.*, 2001).

As dunas foram consideradas no passado como um espaço sem interesse económico e ambiental, pelo que a sua desvalorização levou à sua constante destruição. Eram apontadas como um infortúnio para os terrenos agrícolas levando à necessidade de as florestar e fixar, de modo a impedir o seu avanço sobre zonas localizadas na rota de transporte de areias pelo vento (Almeida, 1998; Gallego-Fernández *et al.*, 2003; Freitas, 2010).

Hoje sabe-se que os sistemas dunares têm uma grande importância, dado que constituem um elemento geomorfológico natural de defesa contra episódios de galgamento e erosão costeira. Representam um dos maiores reservatórios de areias para as praias, contribuindo para a redução de impactos daqueles episódios e para a alimentação dos fundos submarinos próximos, incluindo barras submarinas. Também providenciam um habitat natural para o desenvolvimento de fauna e flora específicas (Seoane *et al.*, 2007; O'Connell, 2008) e como reservatório de água doce, contribuem para a contenção da cunha salina. O desenvolvimento dunar depende da disponibilidade de sedimentos, de espaço, da presença de vento e da existência de vegetação (Carter, 1991).

A vegetação dunar é um ótimo indicador com interesse para a monitorização dos sistemas dunares, uma vez que fornece informações sobre o seu estado de conservação/perturbação, para além de ser um indicador conciso de fácil aplicabilidade (Silva *et al.*, 2004). A acumulação de sedimentos é potenciada pela fixação de espécies anuais, que vão sendo substituídas por espécies perenes que acompanham o crescimento da duna. A presença da gramínea *Elymus farctus* (feno-das-areias), espécie de crescimento vertical muito rápido e tolerante a submersão por água do mar, e de *Ammophila arenaria* (estorno), que apresenta a capacidade de sustentar as areias e de crescer com o soterramento, pode contribuir para a formação de pequenos montículos de areia ou até mesmo de um cordão dunar robusto e contínuo, mais eficaz.

A ausência ou presença de vegetação permite identificar fontes de perturbação, a intensidade das mesmas e a maneira de minimizar ou evitar os efeitos dos seus impactos. Quanto maior for a percentagem de coberto vegetal, melhores são as características de conservação que o sistema dunar apresenta.

A destruição da vegetação facilitará a movimentação das areias acumuladas, sujeitas ao transporte do vento. O cordão dunar primário é o mais exposto à ação dos ventos e do mar, tornando-se assim no local que requer maior atenção, uma vez que a manutenção e estabilização das dunas é essencial para a constituição de um sistema de dunas fixo e permanente que, por sua vez, contribua para a manutenção de uma linha de costa fixa.

O pisoteio criado pela passagem intensiva de pessoas e veículos e a forte ocupação antrópica incluindo construções sobre as dunas, representam as principais causas de destruição da vegetação e consecutivamente da degradação do sistema dunar (García-Mora *et al.*, 2001; Ferreira & Laranjeira, 2000). Há também degradação provocada por causas naturais (por exemplo, incêndios) mas estas causas são intensificadas pela ação antrópica, sendo que todos os desequilíbrios criados demonstram a sua fragilidade e a necessidade de se conhecer melhor a sua dinâmica (Laranjeira, 1997; Almeida, 1998).

Porém, a intervenção humana poderá também contrariar os efeitos dessa pressão e contribuir para recuperar estes sistemas. A implementação de cercas de retenção de areia e/ou colocação de plantas são exemplos de medidas eficazes na estabilização e restauro das dunas, bem como na recuperação do ecossistema dunar (O'Connell, 2008; Freire, 1989).

Assim, o diagnóstico do estado de conservação, torna-se uma medida indispensável para uma gestão eficaz dos sistemas dunares, sendo necessário possuir conhecimentos sobre os efeitos que as ações humanas têm na morfologia e estabilidade das dunas para priorizar intervenções (Seoane *et al.*, 2007).

A condição do sistema de dunas, a evolução natural e a ocupação antrópica sobre o mesmo podem ser investigadas no contexto do espaço costeiro, e ao longo do tempo, a partir de análise de fotografias aéreas e trabalhos de campo. Os resultados podem ser resumidos sob a forma de mapas, que ilustram os principais elementos geomorfológicos e de ocupação do solo, por exemplo. Nesse sentido, a análise geomorfológica representa um instrumento para a gestão territorial, uma vez que o estudo da geomorfologia indica as áreas que estiveram sujeitas a uma maior influência antrópica e as que estão mais expostas a inundações em eventos extremos (Coelho *et al.*, 2012).



## 1.1. Objetivos da dissertação e relevância do tema

O litoral da Costa da Caparica, localizado no Arco Caparica-Espichel, é um importante território da Área Metropolitana de Lisboa (AML), com uma elevada atratividade turística, mas que simultaneamente está sujeito a uma tendência de recuo da linha de costa e degradação das dunas costeiras.

A Costa da Caparica apresenta um modelo de urbanização e de ocupação do solo algo caótico e, em consequência, uma forte degradação dos recursos e valores ambientais devido ao desenvolvimento urbano, quer em termos de primeira e segunda habitação, quer em termos de unidades hoteleiras, que tiram partido das excelentes condições de oferta balnear. De todos os ecossistemas costeiros, os sistemas dunares foram os que sofreram mais alterações (Carter, 1991) e a Costa da Caparica não fugiu à regra.

O aumento da pressão antrópica neste troço litoral, sobretudo na década de 70, com a edificação de infraestruturas legais e clandestinas e dos parques de campismo, provocaram a destruição da grande maioria das dunas presentes na planície litoral extensa e arenosa. Já antes, com a melhoria de acessibilidade à Costa da Caparica devido à construção da Ponte sobre o Tejo, em 1966 (Programa Polis, 2001), a afluência de moradores e veraneantes aumentou significativamente, criando consequências irreversíveis nas dunas.

A paisagem de dunas foi substituída pelo caos urbanístico, tornando a frente da Costa da Caparica suscetível a episódios de galgamento e ao avanço do mar, levando à construção de obras de defesa costeira, constituídas por um campo de esporões e um paredão. Também a exploração das areias de duna como recurso de agregados para a construção civil possibilitaram uma rápida e significativa degradação dos sistemas dunares (Carter, 1988; Laranjeira 1997; Almeida, 1998).

A região da Caparica foi já objeto de intervenções de restauro e requalificação dunar e, à semelhança do sucedido nas dunas da praia de São João ao abrigo do projeto ReDuna, em 2015, a Praia da Mata também foi alvo de instalação de paliçadas de retenção de areia e a colonização de *Ammophila arenaria* (segundo o projeto alinhado, com os objetivos do programa Agenda 21, em 2012).

O objetivo fundamental desta dissertação é a sistematização e caracterização do estado de conservação/degradação das dunas costeiras na região da Caparica, bem como a avaliação da sua evolução nas últimas décadas, uma evolução caracterizada pela persistência de elevada pressão turística e económica.

Para este efeito, escolheu-se uma área de estudo com comprimento suficiente para conter a frente urbana da Caparica, completamente intervencionada, e também o troço adjacente a sul, onde se encontram edifícios eólicos em diferentes estados de conservação (das formas e da vegetação). Procurou-se interpretar o grau de conservação e a sua distribuição espacial no contexto da acessibilidade às praias.

No contexto da dinâmica dos sistemas praia-duna foi efetuada uma avaliação da variabilidade sazonal e da sua tendência evolutiva ao longo dos últimos anos.

Finalmente, procurou-se identificar na área de estudo, os troços mais vulneráveis do sistema dunar e sugerir possíveis medidas de ordenamento e gestão, visando a sua recuperação e conservação, com o intuito da prevenção e minimização dos efeitos da pressão antrópica e restauro dos valores estéticos e ambientais, bem como das funções de proteção natural oferecidas por este ecossistema particular.

## **1.2. Estrutura de dissertação**

Esta dissertação está organizada por capítulos sendo no primeiro apresentada uma introdução geral do tema, discutindo a sua importância, bem como os principais objetivos deste trabalho.

O capítulo 2 inclui uma caracterização da área de estudo, em termos de localização, geologia, geomorfologia e principais condicionantes da sua organização e evolução. A evolução da ocupação (antrópica) do território costeiro e da posição da linha de costa ao longo dos últimos anos também é aqui descrita sucintamente.

O capítulo 3 apresenta uma introdução às temáticas estudadas e analisadas no trabalho. Neste capítulo apresentam-se conceitos e tópicos associados às dunas e à vegetação dunar, um sumário das técnicas e modelos de recuperação dos sistemas dunares já degradados, bem como das principais causas que contribuem para a sua degradação.

O capítulo 4 descreve as metodologias adotadas, considerando a caracterização geomorfológica da região e a sua evolução no tempo. As metodologias referem-se à avaliação do estado de conservação das dunas, em diferentes momentos, bem como os métodos aplicados para avaliar a eficácia das contenções de areia colocadas no passado recente na duna frontal da praia da Mata. Este capítulo inclui também a metodologia aplicada para o estudo da variabilidade sazonal e a tendência evolutiva de algumas praias representativas do troço costeiro.

O capítulo dos resultados (5) apresenta os mapas morfológicos elaborados por fotointerpretação de imagens obtidas em 1942, 1980, 2011 e 2018, bem como a respetiva descrição e interpretação. Apresentam-se aqui também os estudos da vegetação efetuados no âmbito deste trabalho, de modo a caracterizar o estado de conservação das dunas (em 2008 e 2018). Apresenta-se e discute-se o desempenho das estruturas de retenção eólica na evolução da duna da praia da Mata. Finalmente, apresentam-se também os resultados da variabilidade morfológica sazonal e interanual das praias da Saúde, Rainha e da Bela Vista.

As considerações finais são apresentadas no capítulo 6, onde são expostas também as principais conclusões e recomendações.

Reúnem-se depois, em tópico separado, as referências bibliográficas utilizadas para a execução deste trabalho e, por fim, organizam-se os anexos desta dissertação.

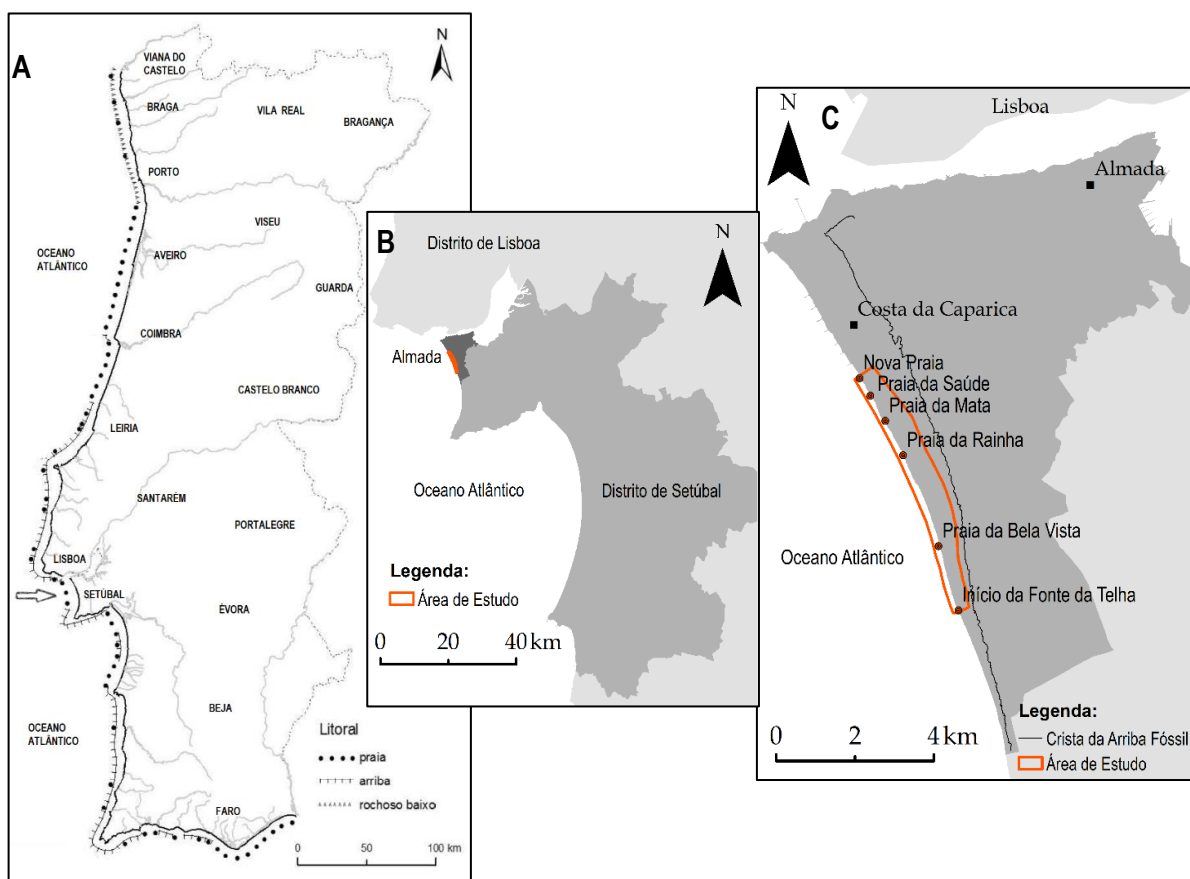
## 2. Caracterização do local de estudo

### 2.1. Enquadramento geográfico

O sistema praia-duna em estudo localiza-se no centro-sul de Portugal continental no distrito de Setúbal, concelho de Almada (Figura 2.1). Este é limitado a Este pela Arriba Fóssil da Costa da Caparica e a Oeste pelo Oceano Atlântico.

O troço litoral em análise está contido entre a frente urbana da Costa da Caparica, com início na Nova Praia, imediatamente a sul do último esporão, terminando a sul na extremidade norte da povoação da Fonte da Telha.

De orientação geral de NNW-SSE, a área de interesse apresenta um comprimento de cerca de 6,3 km e uma largura variável entre 140 e 30 m, sendo menor nos seus extremos.



**Figura 2.1** - Enquadramento geográfico da área de estudo. A - Portugal continental e o seu litoral (adaptado de Duarte Santos et al., 2014). B - Concelho de Almada, enquadrado no distrito de Setúbal. C - Área de estudo (polígono a laranja) e toponímia das praias.

## 2.2. Enquadramento geológico

A região de Almada é abrangida pelas Folhas 34-C Cascais e 34-D Lisboa da Carta Geológica de Portugal na escala 1:50000 e insere-se na Bacia do Baixo Tejo, que apresenta uma direção NE-SW correspondente a uma depressão tectónica alongada, formada durante a inversão da Bacia Lusitaniana no Miocénico (Pais *et al.*, 2006).

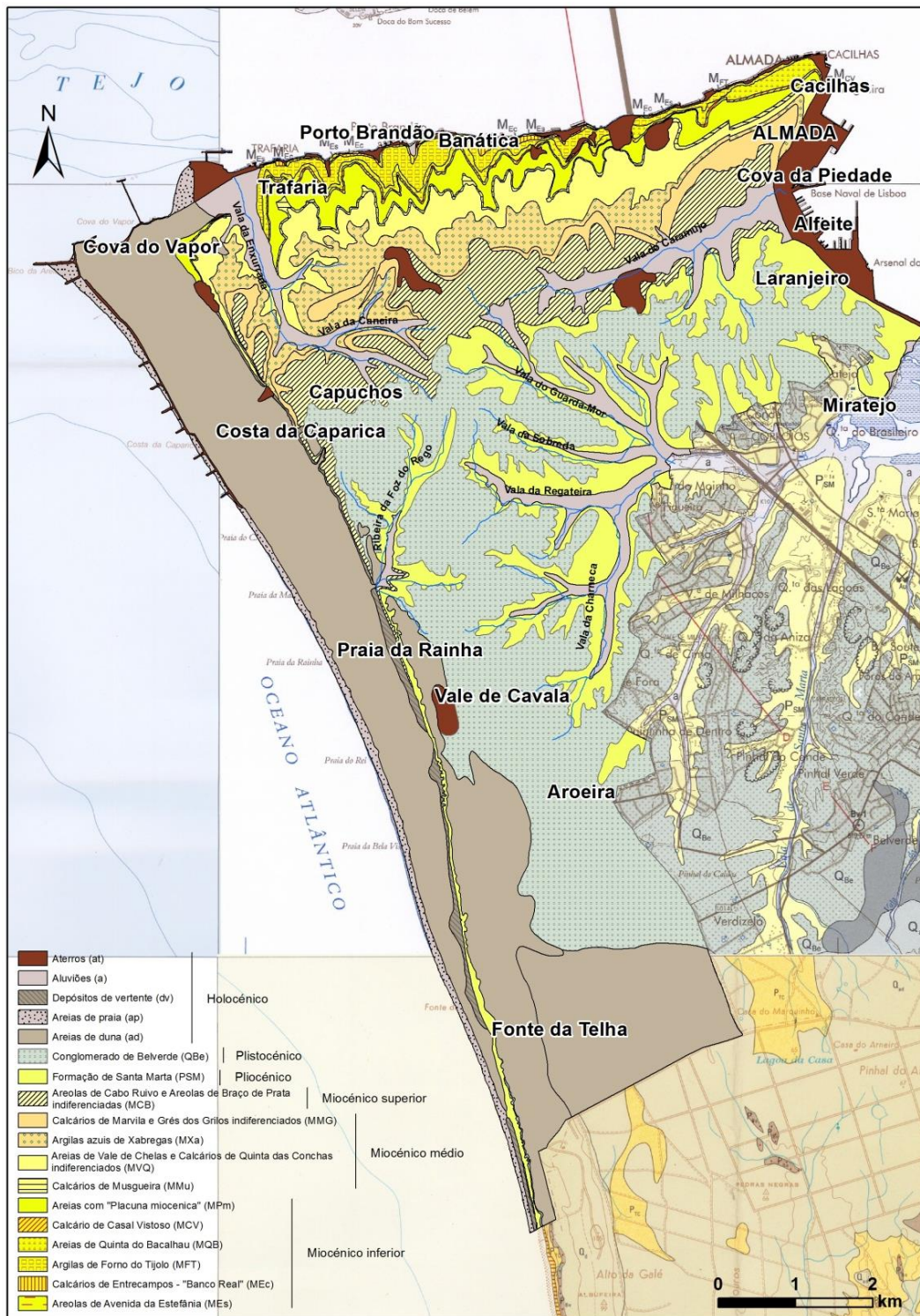
Neste concelho afloram formações sedimentares pertencentes ao Miocénico na região norte, Pliocénico e Plistocénico a sudeste, bem como unidades mais recentes de idade holocénica na região oeste (Pais *et al.*, 2006; Ramalho *et al.*, 2001) (Figura 2.2).

As formações do Miocénico aflorantes na vertente norte do corredor do estuário do Tejo e na Arriba Fóssil da Costa da Caparica são representadas por alternâncias de siltes, argilas, areias finas a grosseiras, mais ou menos consolidadas, com variação na presença de margas e calcários com conteúdo fossilífero (Lamas, 1998; Pais *et al.*, 2006).

Sobre as camadas miocénicas assentam em paraconformidade os sedimentos arenosos pliocénicos, presentes a cerca de 2 a 3 km para sul dos taludes entre Almada e a Trafaria. Os sedimentos pliocénicos são constituídos por areias finas a grosseiras, quase sempre arcósicas, formando a designada Formação de Santa Marta. Esta formação do pliocénico que compõe uma plataforma a sul do concelho, encontra-se sobreposta pelos Conglomerados de Belverde, do Plio-Plistocénico, constituídos por clastos sub-rolados de diversas variedades e com matriz arenosa, correspondente ao último episódio de deposição do Pré-Tejo.

Esta plataforma é sulcada por vales largos e pouco profundos, de reduzido encaixe, com fundo ocupado por aluviões de idade holocénica, de espessura variável (Zbyszewski, 1963; Pais *et al.*, 2006). São também de idade holocénica as dunas presentes no topo da arriba fóssil bem como os depósitos de vertente presentes no sopé desta e que resultam da sua erosão. Os aterros recentes apresentam também expressão cartográfica significativa.

As formações pertencentes ao Holocénico e com maior interesse neste estudo são constituídas por areias de praia e duna, que formam a margem oeste do concelho, a poente dos taludes da arriba fóssil, e compõem a planície litoral entre a Costa da Caparica e a Fonte da Telha. Estas areias são finas e bem calibradas, aumentando ligeiramente o seu diâmetro médio com a proximidade à arriba fóssil (Freire, 1989), podendo ocorrer níveis de seixos e calhaus, correspondentes a antigas praias (Silva, 2000). As areias de praia são essencialmente constituídas por grãos de quartzo e em menor proporção de bioclastos (Freire, 1989). Segundo Teixeira (1990), o teor de carbonatos de cálcio nestas areias diminui para sul ao contrário do que ocorre com o seu calibre que aumenta no mesmo sentido.



**Figura 2.2 - Enquadramento geológico do concelho de Almada. Fonte: Freitas et al. (2011) e Folha 34-D Lisboa da Carta Geológica de Portugal na escala 1:50 000.**

### 2.3. Enquadramento geomorfológico

O troço costeiro que se desenvolve desde a região da Cova do Vapor, a norte até ao limite norte da Fonte da Telha integra o arco litoral Caparica-Espichel. Este arco costeiro limita a poente uma extensa planície costeira, que confina a este com a Arriba Fóssil, uma vertente muito inclinada que se estende ao longo de 30 km, desde a região da Trafaria até à Fonte da Telha. Mais para sul, esta vertente aproxima-se da linha de costa e torna-se ativa.

A planície litoral é um dos quatro tipos de morfologias principais que caracterizam o concelho de Almada, as quais se desenvolveram sobretudo em relação com a diversidade litológica do concelho.

Na margem esquerda do Tejo destacam-se os taludes altos e escarpados, com declives significativos em contraste com o relevo menos vigoroso que a margem direita exhibe. Estes taludes correspondem à vertente mais inclinada de uma extensa costeira, que é cortada por numerosos vales curtos, mas muito encaixados, permitindo que a drenagem superficial seja praticamente perpendicular ao rio Tejo, desde a Cova do Vapor até Cacilhas. Já na região este, entre Cacilhas e o Seixal, a drenagem faz-se para o estuário e a oeste para o Oceano Atlântico, através de vales que cortam a Arriba Fóssil da Costa da Caparica (Lamas, 1998; Pais *et al.*, 2006).

Outra unidade morfológica relevante é a plataforma litoral, que corresponde à antiga superfície aluvial do pré-Tejo (Azeredo & Carvalho, 1986 in Pais *et al.*, 2006). De orientação N-S e limitada a oeste pela Arriba Fóssil da Costa da Caparica, a plataforma litoral apresenta cotas mais elevadas a norte, entre 90 e 100 m e desce suavemente para sul, onde a superfície se torna mais aplanada e com cotas na ordem dos 50 a 80 m (Freire, 1989).

A plataforma litoral confina com a planície litoral por um alinhamento de taludes virados ao Atlântico, desde a Trafaria até à Fonte da Telha, originalmente talhados por ação marinha, mas atualmente deles separados. Esta vertente possui uma orientação variável entre N25°W no seu traçado norte, entre a Trafaria e os Capuchos, passando para N18°W até à Praia do Rei, exibindo até à Lagoa de Albufeira, no seu troço de arriba viva, a orientação de N8°W.

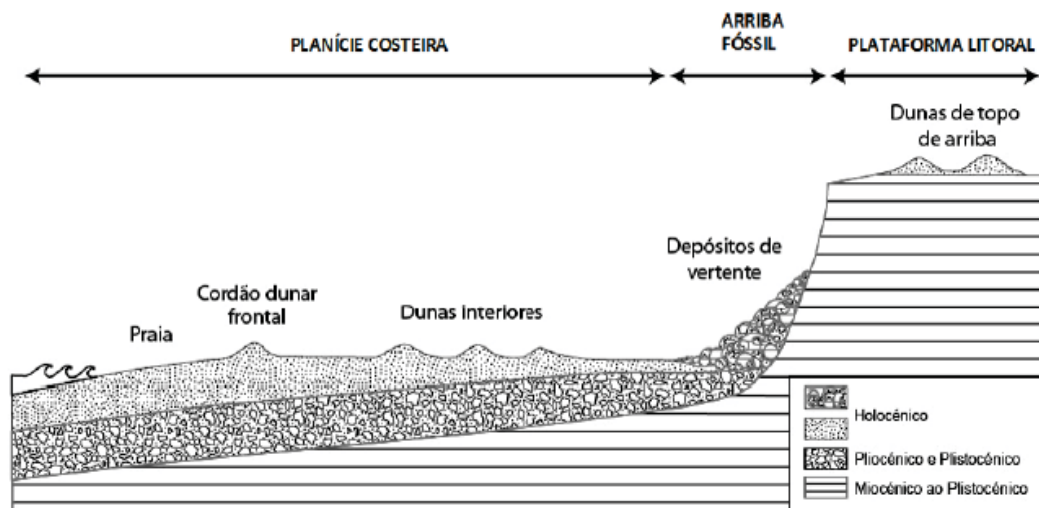
A planície litoral é marginada a poente por um sistema de praia e duna ativo e contínuo, com orientação geral aproximadamente NNW-SSE. A sua largura aumenta continuamente para norte, o que permitiu o desenvolvimento de extensos campos dunares.

A planície é composta por três elementos geomorfológicos principais paralelos entre si e que nem sempre se encontram presentes ou bem conservados devido à influência antrópica: a praia, o cordão dunar exterior e o campo de dunas interiores (Figura 2.3).

A margem exterior desta planície é formada por uma praia de areia contínua com 60 a 80 m de largura, marginada por um cordão dunar frontal.

O cordão dunar exterior encontra-se praticamente destruído desde o limite norte da área de estudo até à Praia da Mata, em concordância com a proximidade das áreas urbanas. A partir desta praia até à Fonte da Telha apresenta-se mais ou menos bem preservado, mas descontínuo devido aos acessos e equipamentos de praia, bem como pela presença de corredores de deflação (*blowouts*).

O cordão dunar frontal apresenta uma direção geral NW-SE. No que diz respeito à sua largura, esta é na ordem de 30 m, a norte, 60-70 m a sul, mas os valores máximos (cerca de 160 m) encontram-se a meio do seu traçado. Em diversos segmentos, o cordão dunar frontal é constituído por cristas múltiplas, separadas por depressões (interdunares) pouco profundas e por vezes bastante largas (Freire, 1989).



**Figura 2.3** - Esquema das unidades geomorfológicas do litoral do Arco Caparica-Espichel. Fonte: FCUL/CG & CMA/DEGAS, 2012.

O sistema praia-duna frontal é ladeado por um campo dunar interior que termina na base da Arriba Fóssil, de encontro à vertente ou aos depósitos de sopé. Com exceção do sistema praia-duna frontal, toda a planície litoral esteve ocupada pelo campo de dunas interior, o qual, a partir dos finais do séc. XIX, perdeu atividade porque foi arborizado pela Mata da Costa da Caparica, com o intuito de imobilizar os corpos eólicos.

As diferentes envergaduras e formas do campo dunar interior foram parcialmente conservadas pela vegetação e, apesar da forte ocupação urbana e agrícola, são atualmente visíveis alguns retalhos dunares lineares, domas irregulares e dunas parabólicas (Freire, 1989).



## 2.4. Enquadramento mesológico, meteorológico e oceanográfico

A dinâmica sedimentar e morfológica que caracteriza o litoral de Almada resulta essencialmente da interação complexa e ininterrupta de fatores como o regime de ventos, as ondas, as marés, as correntes e as tempestades. Também a vegetação e processos biológicos e as atividades humanas, apresentados ao longo do trabalho, são agentes que modelam a região.

A predominância de ventos é do noroeste, norte e nordeste (Barata *et al.*, 2013). Porém, os ventos mais fortes são provenientes de WSW e SW associados a gotas de ar frio e a perturbações marinhas (de oeste). Embora menos frequentes, são estes ventos os responsáveis pela formação e crescimento das dunas que marginam a alta praia (Freire, 1989).

As marés no litoral do concelho de Almada são semidiurnas, com altura em preia-mar de águas vivas máxima de aproximadamente 4 m (ZH) e baixa-mar mínima de águas vivas de 0,3 m (ZH) (Abecassis, 1987; Freire, 1989).

A ondulação que afeta o litoral em estudo, para além de ser influenciada pelos ventos dominantes, é também influenciada pelo efeito de abrigo induzido pelo promontório de Cascais (a saliência rochosa entre o Cabo da Roca e o Cabo Raso), nomeadamente no que respeita às ondas com rumo rodado para norte do oeste. A ondulação proveniente de SW geralmente está associada a regimes de tempestade violentos, uma vez que a sua incidência é direta ao espaço costeiro.

A agitação marítima de geração distante, essencialmente proveniente de W a NW e secundariamente de SW é afetada por refração sobre os bancos sedimentares do estuário exterior do Tejo, tornando os rumos quase perpendiculares à linha de costa durante praticamente o ano inteiro (Freire, 1989; Andrade, 1998; Silveira *et al.*, 2013). Os efeitos de abrigo de costa, difração e refração geram transporte de sedimentos com resíduo anual pequeno e de sul para norte (Freire, 1989).

As correntes de vazante do estuário do Tejo conduzem os sedimentos que a deriva litoral despeja no canal exterior do Tejo para o exterior da barra, contribuindo para o seu assoreamento. À medida que a intensidade destas correntes diminui, o transporte de sedimentos em direção à costa é reestabelecido pelas ondas, completando um ciclo da movimentação sedimentar (Abecassis, 1987; Veloso-Gomes *et al.*, 2006; Duarte Santos *et al.*, 2014).



## 2.5. Formação e evolução da planície litoral

Em diversos documentos cartográficos mais antigos ocorre expressão gráfica da planície costeira da Costa da Caparica, tais como nas cartas de Johannis van Keulen (1680) (Figura 2.4) e M. Robert (1751) (Figura 2.5) (Freire, 1989) que, embora com rigor diminuto, exibem claramente uma região emersa, alongada, entalada entre a arriba e a linha de costa, com abundância de sedimentos e desenvolvimento paralelo ao da linha de costa.

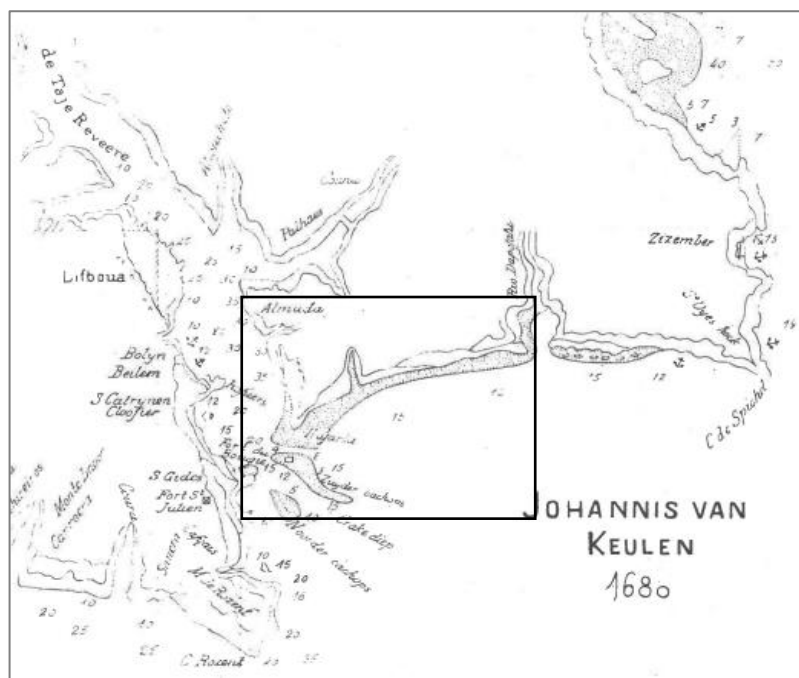


Figura 2.4 - Johannis Van Keulen – 1680. Fonte: Freire, 1989.

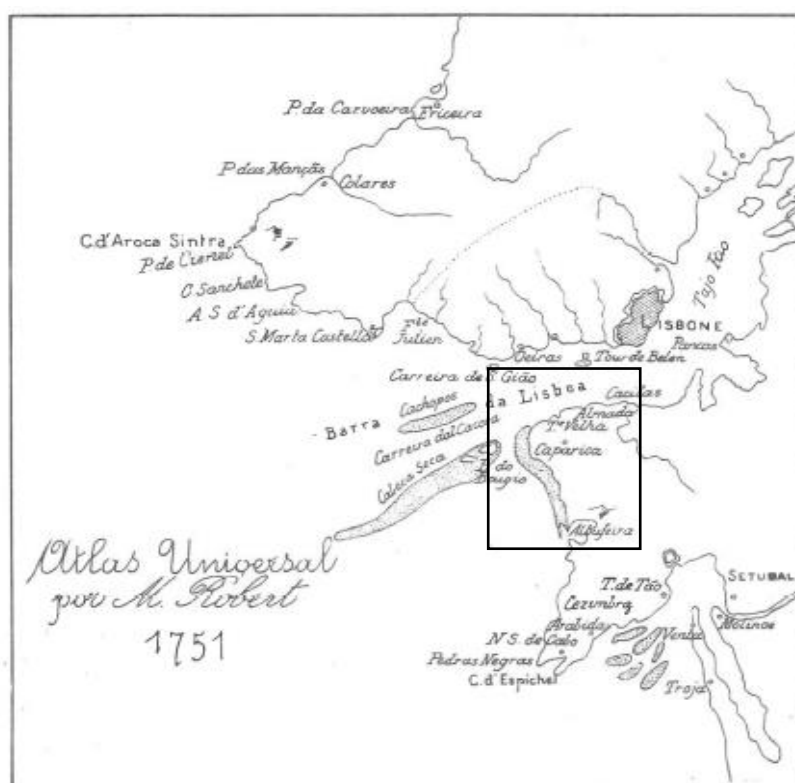
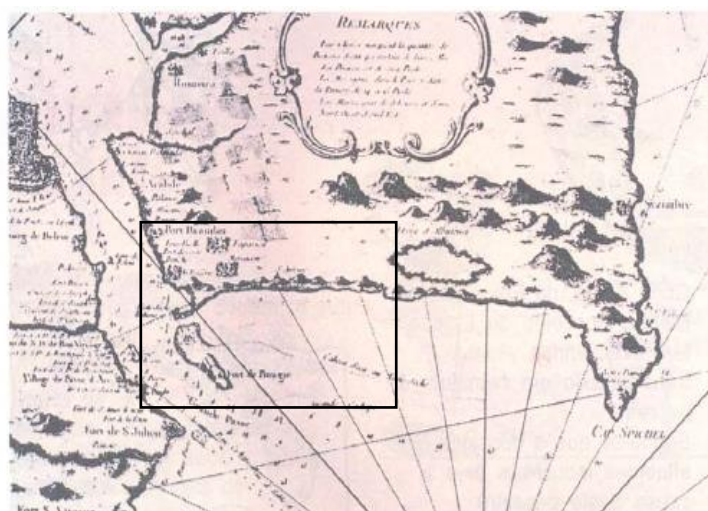
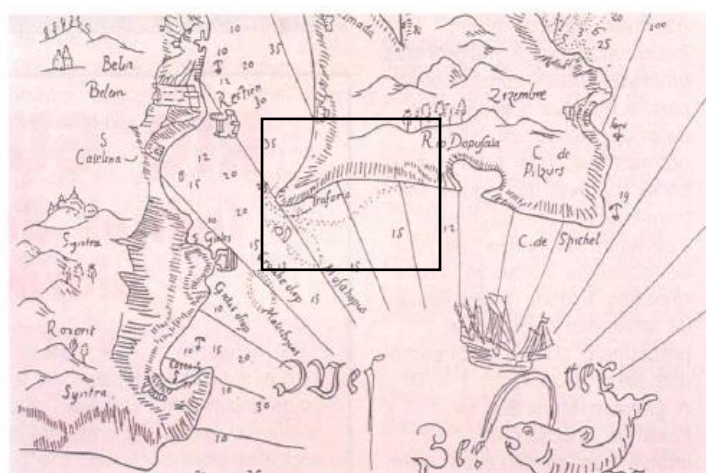


Figura 2.5 - Atlas Universal de M. Robert datado de 1751. Fonte: Freire, 1989.

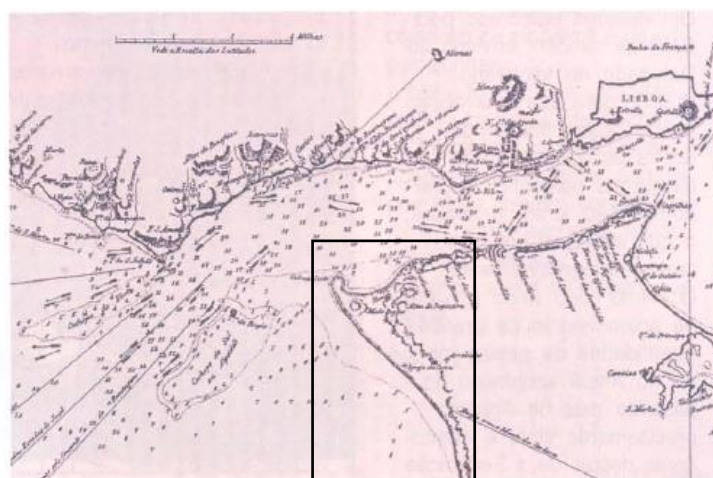
Este facto contradiz a hipótese de a planície costeira ter sido levantada pelo grande sismo de 1755, que teria assim causado o afastamento da arriba do mar, colocando-a em posição semelhante à atual. Esta hipótese foi defendida por Pais (1992) com base na interpretação dos mapas de 1583 a 1815 ilustrados na Figura 2.6, Figura 2.7 e Figura 2.8.



**Figura 2.6** - - Carta de origem holandesa da região da Costa da Caparica no ano de 1583. Fonte: Pais, 1992.

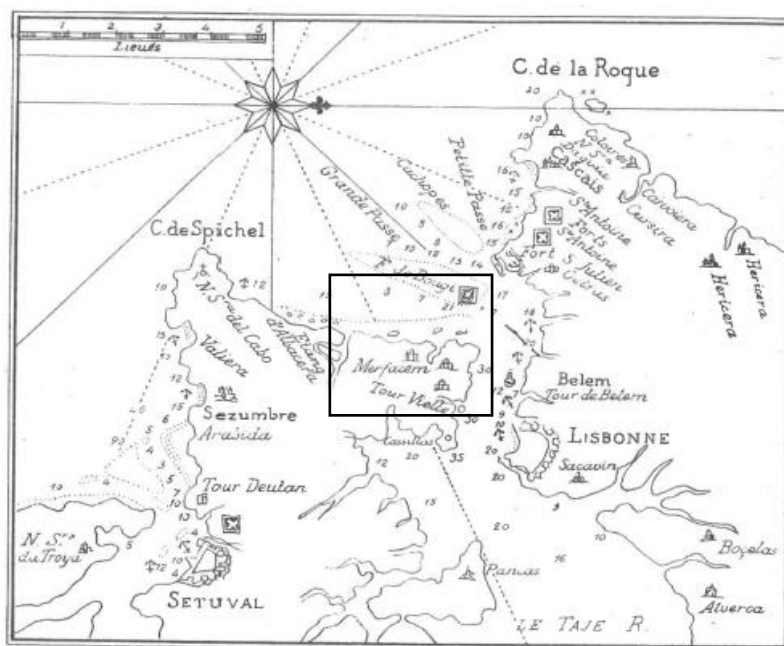


**Figura 2.7** - "Plan du Port de Lisbonne et des cotes voisines" do ano de 1756. Fonte: Pais, 1992.



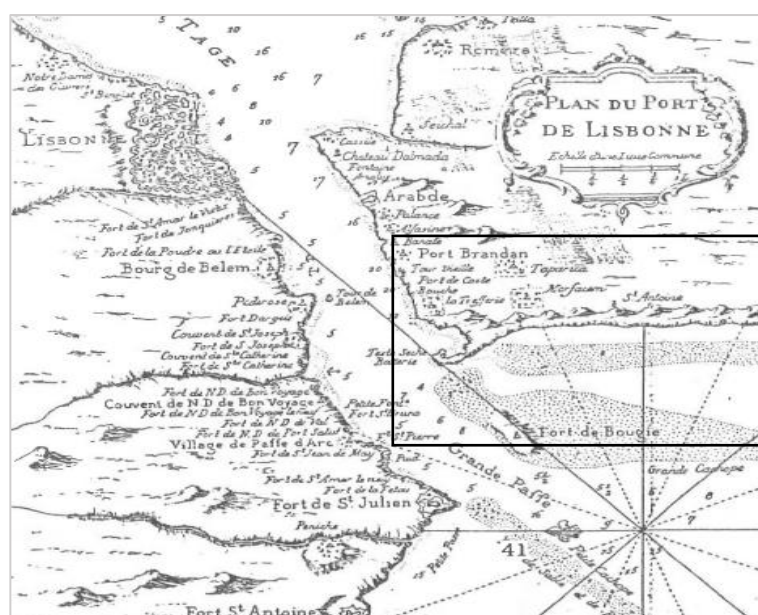
**Figura 2.8** - Carta topográfica militar do terreno da Península de Setúbal, levantada em 1813-1815. Fonte: Pais, 1992.

De facto, e de acordo com Freire (1989), desde o séc. XVI até ao final do séc. XVIII que se observava a presença de acumulações arenosas junto à Trafaria e ao longo do litoral até à Lagoa de Albufeira, bem como de bancos de areia extensos na foz do Tejo. O mapa elaborado por Michelot e Bremond em 1720 (Figura 2.9) apresentava todos os elementos anteriores e acrescentava a existência de dunas.



**Figura 2.9** - Mapa de 1720, elaborado por Michelot e Bremond e intitulado por "Les côtes du Portugal et Barbarie". Fonte: Freire, 1989.

Com maior rigor, o “*Plan du Port de Lisbonne*” (Figura 2.10), elaborado por M. Belin, em 1756, tem representado um banco de areia paralelo à linha de costa e, entre este e a arriba fóssil, uma região húmida. Neste plano e também no mapa elaborado por William Chapman (Figura 2.11), em 1810, o areal da Trafaria encontrava-se separado do banco do Bugio por um canal estreito e pouco profundo. Chapman, neste mapa topográfico da embocadura do rio Tejo representou as dunas como manchas ovais, longitudinais e irregulares, principalmente na região a sul da povoação.

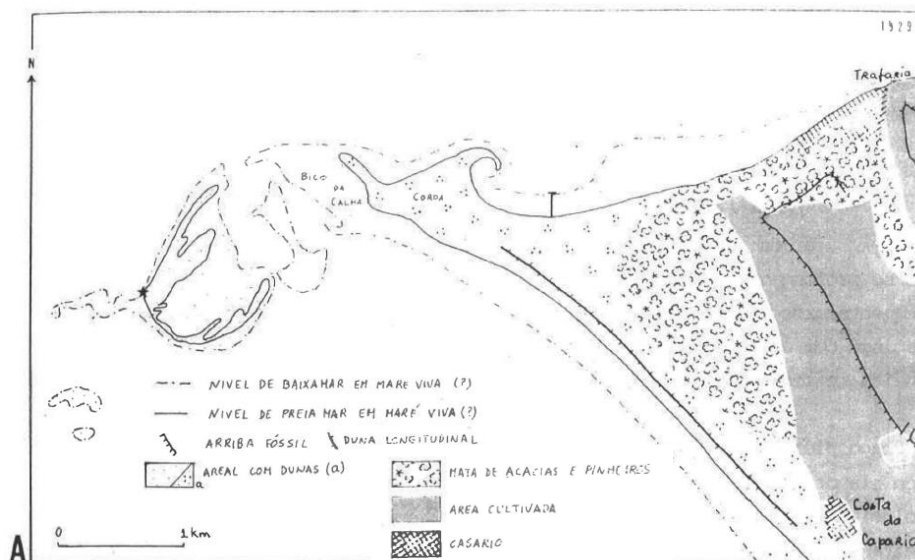


**Figura 2.10** - *Plan du Port de Lisbonne*, elaborado por M. Belin em 1756. Fonte: Freire, 1989.



**Figura 2.11** - Mapa topográfico da embocadura do rio Tejo de 1810, de William Chapman. Fonte: Freire, 1989.

Freire (1989) propôs uma génese da planície litoral relacionada com a formação e evolução de sucessivos bancos de areia em acreção e progradação para oeste, alimentados por sedimentos da deriva litoral que neste sector costeiro tem resíduo de sul para norte, como já referido. Os planos hidrográficos da barra do Porto de Lisboa de 1842 e 1893 (Anexo 1) foram interpretados por Freire (1989) como a representação de um “pântano” alongado longitudinalmente (paralelo à linha de costa), com largura máxima de 700 m junto à Trafaria e comprimento de 2,5 km, alimentado pelas águas oceânicas (Freire, 1989, Ramos-Pereira, 1988) e separado do mar por um “banco” também alongado e com alinhamento idêntico. A comparação dos dois planos hidrográficos sugere alterações morfológicas significativas, tais como o aumento do número de bancos de areia na região do Bugio, recuo da linha de costa, a norte, e redução considerável da área do “pântano”, motivada por assoreamento natural e recuperação de terras para ocupações agrícolas e florestação. Estas últimas transformações continuam evidenciadas nos planos hidrográficos de 1929 (Figura 2.12) e 1939 (Figura 2.13) e, nestes levantamentos, também se observa acumulação de areia no Bugio, assim como um corpo arenoso adjacente à praia, paralelo à linha de costa, que pode configurar uma duna frontal em formação.



**Figura 2.12** - Plano hidrográfico de Lisboa de 1929. Fonte: Freire, 1989.



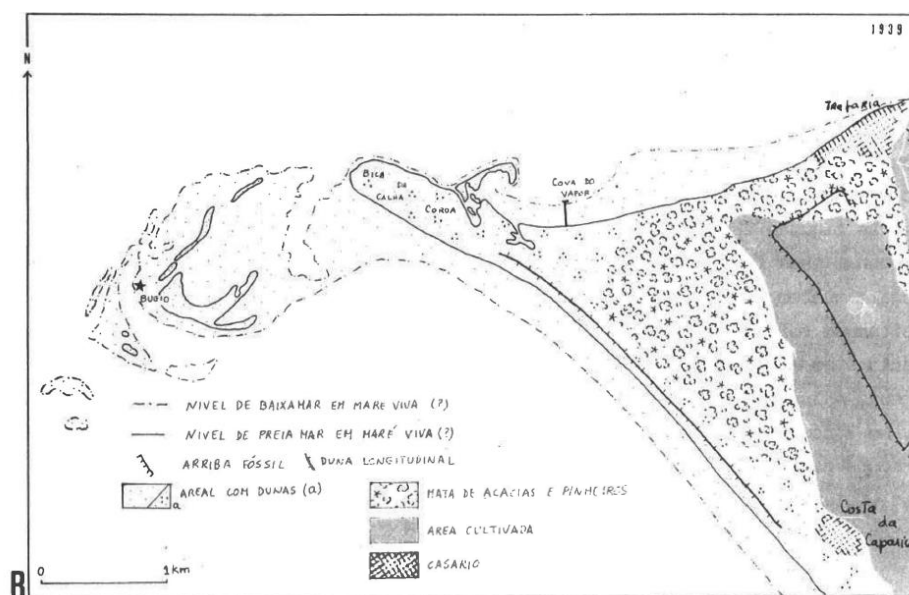


Figura 2.13 - Planos hidrográficos de Lisboa de 1939. Fonte: Freire, 1989.

Estas indicações sugerem que houve lugar a evolução geomorfológica relevante do troço norte da planície costeira nos últimos dois séculos.

A génese sugerida por Freire (1989) é congruente com as representações cartográficas conhecidas das barras do Tejo e do litoral adjacente, bem como com a dinâmica e balanço sedimentar de escala temporal alargada descrita no relatório do Grupo de Trabalho do Litoral (Duarte Santos *et al.*, 2014) (Figura 2.14).

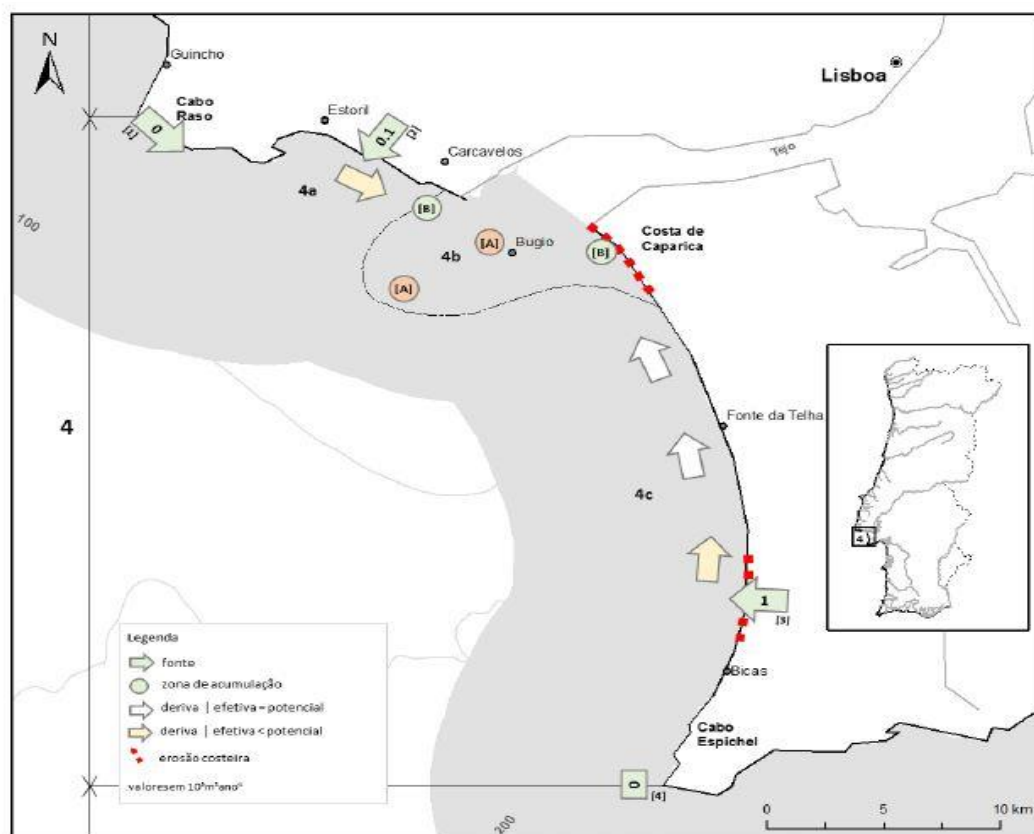


Figura 2.14 - Célula sedimentar N°4: Balanço sedimentar na situação atual. Fonte: Duarte Santos *et al.*, 2014.

De acordo com este modelo de circulação sedimentar, a planície costeira da Caparica terá resultado essencialmente de progradação para oeste de uma plataforma arenosa, construída pela perda progressiva (para norte), da capacidade de transporte sedimentar das correntes de deriva litoral. A fonte externa de sedimentos é assegurada pelo recuo das arribas costeiras a sul da Lagoa de Albufeira e a natureza descontínua do processo de progradação da planície para poente é compatível com a organização das cristas arenosas em feixes separados por depressões interdunares.

## **2.6. Ocupação do espaço costeiro**

A região da Caparica foi ocupada desde 1770 por pequenos núcleos de pescadores oriundos do Algarve e de Ílhavo que se instalaram sobre o areal, surgindo a agricultura como segunda atividade (Neves, 2008; Martins 2013). Apenas a partir dos primeiros anos do séc. XX, se observou uma tendência de uso e ocupação dessa região motivada por atividades diferentes. A Costa da Caparica, marginada por pinhais, eucaliptais e acácias, era à época designada pela “Praia do Sol”. Estes dois elementos, praia e mata, contribuíram para incrementar a procura desta região e, em particular, da praia (que até então era considerada como uma praia de pescadores (Ramalho, 1934)) para atividades de lazer.

O estabelecimento da travessia fluvial (Terreiro do Paço – Cacilhas ou Belém-Trafaria), em 1926, permitiu uma crescente afluência de banhistas (Costa, 2007). Com a crescente procura e elevação desta praia à categoria de “estância de turismo/balnear” em 1925 (Decreto nº 11335, de 9 de dezembro de 1925), a afluência de pessoas aumentou e iniciou-se um processo de ocupação desordenada, principalmente materializada pela construção à beira-mar. Em 1939 foi inaugurada a colónia de férias da FNAT (atual INATEL) que se instalou sobre um campo dunar, arrasando-o.

A paisagem começou assim a sofrer alterações, aumentando o número de edifícios para residência secundária ou temporária, e construiu-se uma pensão, acrescentando-se edificado para além das cabanas e casas de pescadores e agricultores (Freire, 1989) (Figura 2.15). Associadas a estas construções, foi desenvolvida, em 1930, a estrada de ligação de Almada à Costa da Caparica (Freire, 1989) e um ano mais tarde a Estrada Florestal – estrada de acesso da Trafaria à Costa da Caparica (Costa, 2007).



**Figura 2.15** - Fotografia aérea do centro urbano da Costa da Caparica, entre 1930 e 1932.  
*Fonte: Núcleo Fotográfico do Arquivo Municipal de Lisboa in Granadeiro, 2014.*

Em 1949, a povoação da Costa da Caparica era elevada a freguesia (Decreto-lei n.º 37301, de 12 de fevereiro de 1949), o que prova o crescimento urbano e a atividade económica, e mais tarde, em 2004, elevada a cidade. A construção do Clube de Campismo de Lisboa, em 1952, veio marcar significativamente a evolução da população na região (Martins, 2013).

Na década de 60 e 70 do séc. XX, a abertura do IC20 e a construção da Ponte sobre o Tejo, permitiram o acesso a novos espaços de lazer e de habitação gerando uma crescente pressão urbana e agrícola, não só na Costa da Caparica como na generalidade do concelho de Almada. Com a acessibilidade assegurada, novos equipamentos foram edificados, nomeadamente os Parques do Clube de Campismo do Concelho de Almada (1970), da GNR e da Orbitur (1962); construíram-se os bairros de Santo António e de S. João e também o bairro do Campo da Bola (demolido em 2007/2008 ao abrigo do Programa Costa Polis), e teve lugar a ocupação da Cova do Vapor.

Para além do aumento significativo da população, o que significa aumento significativo de utentes das praias, a construção da linha do comboio *Transpraia*, em 1960 (Diário de Notícias, 2018, Transpraia.pt, 2018), que implicou desaterro de dunas, contribuiu também para a alteração do uso do solo e para a degradação dos campos dunares (Freire, 1989; Programa Polis, 2001).

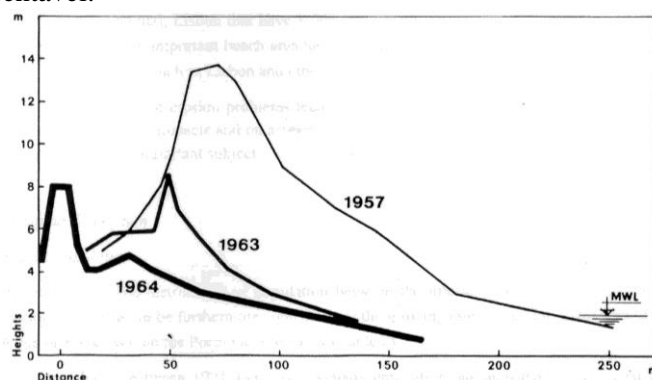
A ocupação deste território costeiro foi desde há muito também acompanhada por tentativas de fixação das dunas, drenagem de terrenos alagadiços e criação de espaços agrícolas. Em finais do século XIX as dunas da Caparica eram descritas como muito baixas, em grande parte alagadas e “pouco movediças”, apresentado a maior largura junto ao Tejo (Dias, 1953). Nesta época foi criada uma rede de valas de drenagem para promover a secagem das terras desde a região da Trafaria até um pouco para sul da Costa da Caparica (Freire, 1989; Flores, 2009). A fixação das dunas da Trafaria completou-se em 1883 através plantação de acaciais e pinheiros (Dias, 1953). Até 1910, foi plantada praticamente uma área de 40%, chegando aos 60% entre 1911 e 1926 e posteriormente, a plantação da restante área de florestação (> 60%) que ocorreu entre 1927 e 1955 (Freitas, 2010). No seguimento desta intervenção foram plantadas entre os anos 50 e 60 do século XX diversas espécies autóctones, como as acácias, e a espécie comumente designada por “chorão” que invadiram depois toda a área para sul da Costa da Caparica até ao limite norte da Fonte da Telha (Freire, 1989; Pais, 1992).

Também a dinâmica costeira tem sido alvo de preocupação e de diversas intervenções ao longo do último século, com o objetivo genérico de prevenir os efeitos da erosão e da inundação, embora a dimensão, tipologia e eficácia das soluções adotadas em cada momento tenha variado significativamente. Por exemplo, pelo menos desde 1937 que há relatos de destruição da duna da Trafaria em episódios de tempestade (Pereira, 1937); em 1954 a erosão tinha obliterado uma grande porção da praia e duna da Cova do Vapor (CMA, 2007). Um ano mais tarde e com a finalidade de proteger a Fábrica de dinamite da Trafaria, foi construída uma segunda duna na faixa Cova do Vapor – Trafaria.

A partir de 1947 assistiu-se à consolidação de uma tendência de recuo da linha de costa entre o núcleo urbano da Caparica e a Cova do Vapor, com intensidade progressivamente maior para norte. Ferreira & Laranjeira (2000) atribuem o despoletar desta tendência a desequilíbrio do balanço sedimentar regional promovido por extensa atividade de dragagem concentrada na década de 40, no canal de navegação (e de acesso ao porto de Lisboa).

Em consequência, entre 1957 e 1964 observou-se naquele troço costeiro recuo de cerca de 100m e diminuição da cota da crista da duna (de 14 m para 8 m ZH) (Barceló, 1971; Freire, 1989; Veloso-Gomes & Pinto, 2003) (Figura 2.16). Muitos dos palheiros e avieiros construídos sobre as dunas na região da Cova do Vapor para albergar pescadores e os seus instrumentos de arte xávega, foram por esta razão abandonados a partir do início dos anos 50 e transferidos para o areal de praia, entre a Costa da Caparica e a Praia da Mata (Martins, 2013).

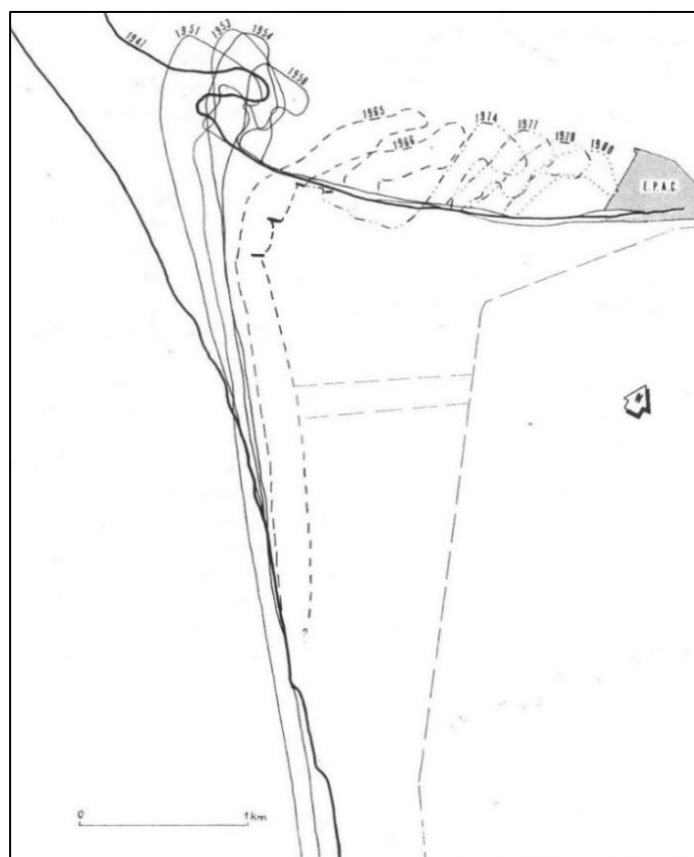
Contudo, com o aumento do turismo os palheiros aumentaram em número e em envergadura porque passaram a ser alugados durante a época estival e aos fins-de-semana. Desta forma, a erosão da extremidade norte deste troço litoral concentrou mais pessoas e construções na Costa da Caparica, ocorrendo também uma mudança de atividade do sector primário (pesca) para terciário (turismo), substancialmente mais rentável.



**Figura 2.16** - Perfil praia-duna em 1957, 1963 e 1964. Fonte: Veloso-Gomes & Pinto, 2003.

De modo a combater o recuo contínuo foram construídas entre 1959 e 1963 as primeiras estruturas pesadas de defesa costeira, mas limitadas à região da Cova do Vapor: três esporões e um paredão.

Na Figura 2.17, ilustra-se a evolução da linha de costa entre 1947 e 1980 interpretada com base na análise de fotografias aéreas de acordo com Freire (1989). Esta evolução configura um recuo geral e persistente de dezenas de metros por ano no sector NW da planície litoral, com rotação dextrogira, criando um alinhamento da praia tendencialmente próximo da orientação atual (Freire, 1989).



**Figura 2.17** - Evolução da linha de costa entre 1947 e 1980 efetuada com base em fotografia aérea. Fonte: Freire, 1989.



As defesas construídas a norte provaram ser ineficazes na estabilização de toda a linha de costa. De facto, diversos episódios de galgamento, inundação oceânicas e erosão, continuaram a afetar a região (agora mais urbanizada) da Costa da Caparica e, de entre elas, merece referência pela sua gravidade a invasão pelo mar da Igreja da Costa da Caparica no inverno de 1964/65 (Diário de Notícias, 2007), um evento de que muitos habitantes ainda guardam memória. Em resposta ao agravamento da situação erosiva a partir de 1964, as defesas pesadas foram alargadas para sul, tendo até 1972 sido construídos mais sete esporões e uma obra longitudinal aderente ao longo da frente urbana da Costa da Caparica (Barceló, 1971, Veloso-Gomes & Pinto, 2003; Pinto *et al.*, 2007).

Entre 1972 e 1988, o litoral apresentou-se relativamente estável. Contudo, o campo de esporões não permitiu a recuperação total das praias urbanas, tendo sido a partir de 1998 e até ao presente, rompido o equilíbrio dinâmico e reativado o processo erosivo das praias e o recuo do troço arenoso a norte da Costa da Caparica (Veloso-Gomes *et al.*, 2006; Pinto *et al.*, 2007). Em 1985 e 1995 a Administração do Porto de Lisboa (APL) efetuou deposições de areia nas praias entre esporões da Costa da Caparica (APA, 2018), cuja longevidade foi, porém, pequena.

Mais recentemente, nos invernos de 1998/1999, 2000/2001, 2003/2004, 2006/2007 e 2007/2008, houve necessidade de efetuar diversas intervenções de emergência, como o reforço e consolidação do cordão dunar da Praia de São João da Caparica (invernos de 2002 e 2003) e também o reperfilamento dos esporões e da estrutura longitudinal aderente da Caparica, em 2006.

A intensa erosão sentida entre 2006 e 2007 na praia de São João destruiu o cordão dunar e diminuiu a largura da praia emersa, tendo sido necessárias intervenções de alimentação artificial com recurso a areias provenientes do canal de navegação do Tejo, em 2007, 2008 e 2009, sob a égide do (entretanto extinto) Instituto da Água (Veloso-Gomes, 2009; APA, 2018).

Em 2014 e 2019 ocorreram novas alimentações artificiais com o intuito de melhorar as condições de estabilidade da linha de costa e a proteção das obras de engenharia pesada, recorrendo novamente a areias dragadas das manchas de empréstimo situadas na embocadura do estuário do Tejo (APA, 2018).

Em consequência dos episódios de erosão provocados pelos temporais de inverno de 2013/2014, nomeadamente o temporal *Christina* que ocorreu em janeiro de 2014, a praia e duna de São João da Caparica perdeu um volume de praia significativo, acompanhado com um recuo da linha de costa de aproximadamente 14 m. Estes eventos tempestivos, para além de fragilizarem o cordão dunar, tornaram-no suscetível à ocorrência de inundações futuras dos parques de estacionamento localizados no tardoz da duna e a destruição de equipamentos de praia, à semelhança do ocorrido durante o temporal (APA, 2014). Para a recuperação e monitorização deste sistema surgiu o projeto ReDuna - Recuperação e Restauração Ecológica do Sistema Dunar de São João da Caparica, uma iniciativa da Câmara Municipal de Almada (CMA), em parceria com a Agência Portuguesa do Ambiente (APA). Com este projeto foram introduzidas espécies colonizadoras do espaço dunar e instaladas paliçadas de vime, no período entre dezembro de 2014 e março de 2015 (Rato, 2017).

### 3. Dunas costeiras: classificação, vegetação, degradação e recuperação

A faixa costeira, em especial as praias e dunas, refletem um sistema dinâmico sensível que é constantemente alterado ao longo do tempo (Carter, 1991), por influência dos elementos forçadores, como o vento, as ondas, as marés, as correntes de deriva litoral, a disponibilidade sedimentar e pelo impacto cada vez maior da ação humana (Ramos-Pereira, 2008).

As dunas costeiras são acumulações pelo vento de sedimentos finos, móveis ou fixas e de variadas dimensões, com ou sem vegetação. Em primeiro lugar, os sedimentos são depositados na praia pela ação do mar e, posteriormente, transportados da praia seca pelo vento para um local (alta praia) que não seja constantemente atingido por ondas ou marés vivas. Em ambientes com disponibilidade sedimentar, o desenvolvimento das dunas inicia-se quando o fluxo de areias interage com algum obstáculo: conchas, vegetação, dunas pré-existentes ou construção humana (Davies & FitzGerald, 2004; Seoane *et al.*, 2007).

Os grãos de areia, movem-se por saltação<sup>1</sup>, ao longo da praia e quando são intercetados pela vegetação (ou outro obstáculo) acumulam-se, devido à redução da velocidade do vento, formando pequenos montículos. Estes montes ganham porte caso haja disponibilidade sedimentar e densidade de vegetação suficiente, originando uma duna embrionária pela coalescência desses pequenos montes. Caso a vegetação seja relativamente baixa, o desenvolvimento do monte será menor, formando pequenos montículos designados por *nebkas* (Seoane *et al.*, 2007). O contínuo desenvolvimento destas formas origina a construção de uma duna lateralmente contínua (Carter, 1988; Seoane *et al.*, 2007).

A vegetação assume um papel importante na estrutura e dinâmica dos sistemas dunares, uma vez que apresenta uma grande capacidade para reter volumes de areia transportados pelo vento. A instalação das primeiras plantas na alta praia e no cordão dunar permitem travar o movimento das areias para o interior, contribuindo para o crescimento das dunas em altura, fortalecendo a estabilização da faixa costeira (O'Connell, 2008).

As plantas tolerantes ao sal e com extensos sistemas radiculares contribuem para a estabilização das areias envolventes, como também ajudam na diminuição da erosão por escoamento e por impacto da precipitação sobre as dunas (Seoane *et al.*, 2007; O'Connell, 2008).

As dunas desempenham um papel importante na estabilização da linha de costa, dado que se comportam como um amortecedor físico entre o mar e as áreas adjacentes, no domínio terrestre (EEA, 2006). Servem de armazenadoras e fornecedoras de material sedimentar e dos nutrientes necessários para o crescimento de vegetação (essencial para a estabilização das dunas) (Ferraz, 2007; Seoane *et al.*, 2007).

Esta barreira física, que protege o domínio terrestre dos galgamentos oceânicos, tem sido afetada negativamente pela pressão humana. O pisoteio indiscriminado originado por pedestres, como também cavalos ou veículos motorizados, é um dos principais fatores que afeta negativamente a vegetação e consecutivamente o desenvolvimento dunar.

---

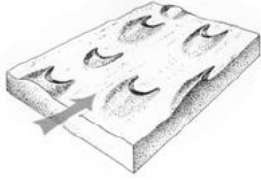
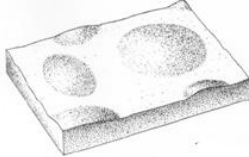
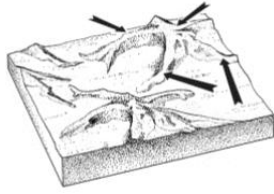
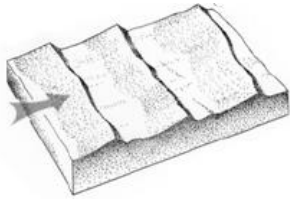
<sup>1</sup> Também a velocidade e orientação do vento relativos à praia comprometem o desenvolvimento das dunas. Estes parâmetros, a par das características do sedimento e da superfície, definem o modo de transporte sólido eólico: suspensão, saltação e reptação. O primeiro modo de transporte ocorre em partículas finas incorporadas na coluna de ar, onde permanecem e são transportadas ao longo de grandes distâncias. A saltação é o modo de transporte dominante nos sistemas dunares, que se processa segundo uma série de saltos e impactos entre grãos de areias finas a médias, movimentando-se em contacto intermitente com o solo. A reptação caracteriza as partículas de maior dimensão que rolam ou deslizam, a favor do vento, em consequência do impacto de outro grão ou por ação direta do vento (Seoane *et al.*, 2007).

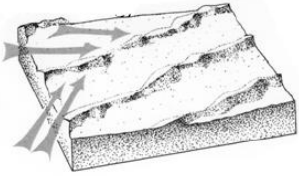

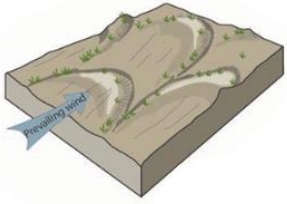
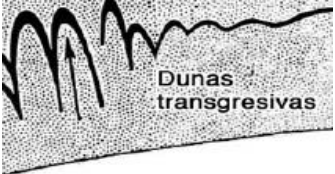

### 3.1. Classificação dunar

As dunas costeiras há muito que são analisadas por diversos autores, tais como McKee (1979, 2004), Hesp (1988, 2002) ou García-Mora *et al.*, (1999). McKee (1979, 2004) define dois tipos de dunas: as ativas e as inativas, sendo que as primeiras refletem a dinâmica dos sedimentos e a ação do vento, que em conjunto são capazes de formar diversos tipos de duna. Os corpos dunares inativos representam acumulações de sedimentos que não sofrem atualmente mobilização (depósitos eólicos fixos) devido ao facto de se encontrarem abrigados da ação do mar e do vento.

A dominância dos ventos (capacidade de transporte), a presença e tipo de vegetação e a disponibilidade de sedimentos são alguns dos fatores principais e naturais que condicionam a morfologia das dunas, levando à existência de diversas geometrias (Seoane *et al.*, 2007). Deste modo, e de acordo com diversos autores, como McKee (1979), Hesp (2002), Branco *et al.*, (2003) e Seoane *et al.* (2007), consideram-se os tipos de dunas e as formas possíveis de serem geradas (Tabela 3.1).

**Tabela 3.1** - Representação esquemática das principais classificações de dunas formadas em ambientes desérticos e costeiros (McKee (1979), Hesp (2002), Branco *et al.* (2003) e Seoane *et al.* (2007). Ilustrações em NPS.gov. (2020) e McKee (1979)).

Tipo de duna	Breve descrição
<b>Barcanas</b> 	Dunas isoladas que possuem formato de crescente, geralmente pequenas e de rápida propagação. Formadas em regiões secas, normalmente em ambientes desérticos, com baixa disponibilidade de sedimentos e vegetação ausente. As pontas laterais da duna alongam-se a favor do vento e progradam mais rapidamente que a região central explicando o arqueamento.
<b>Em domos</b> 	Forma elíptica em planta, sem face de deslizamento, devido a ventos fortes e unidirecionais. São acumulações de areia de pequeno porte, comuns na alta praia, que migram sobre as superfícies das dunas de maior dimensão.
<b>Pirâmides ou em estrela</b> 	Dunas de grande dimensão e de forma piramidal, com um pico central, de onde divergem cristas sinuosas. As dunas em forma de estrela estão associadas a ventos multidirecionais, com transporte líquido anual pequeno.
<b>Transversais</b> 	Dunas assimétricas, alongadas, com cristas transversais à direção do vento, retas ou ligeiramente curvas. Frequentes em locais com abundância sedimentar, pouca vegetação e direção do vento constante.

<p><b>Lineares (ou longitudinais)</b></p> 	<p>Dunas simétricas, alinhadas paralelamente com as direções do vento dominante. Cristas alongadas e retilíneas, com relação entre as cristas e o espaço interdunar. A posição da crista oscila em função da variação da direção do vento, que normalmente apresenta um regime bidirecional ou com ampla variabilidade direcional.</p>
<p><b>Blowouts</b></p> 	<p>Formas arredondadas ou alongadas, que cortam o edifício dunar. Consistem numa bacia de deflação formada sobre um depósito de sedimento pré-existente. A destruição de vegetação e o pisoteio estão na origem da formação de <i>blowouts</i>.</p> <p>Têm expressão tanto em ambientes desérticos não vegetados como em ambientes costeiros vegetados e a bacia de deflação, dá lugar a um corpo deslocado, a sotavento, que eventualmente se pode destacar e separar da duna que lhes deu origem.</p>
<p><b>Parabólicas</b></p> 	<p>Acumulação de sedimentos com formato de “U” ou de “V” em planta, com a concavidade virada para barlavento. Formadas em regiões com ventos fortes e unidirecionais. Podem resultar da evolução de dunas transversais através do desenvolvimento a sotavento de depressões eólicas (<i>blowouts</i>). Geralmente associadas a uma cobertura vegetal reduzida ou moderada.</p>
<p><b>Dunas transgressivas</b></p> 	<p>Contínua progradação de areias transportadas por um regime de ventos de alta intensidade em áreas desprovidas de vegetação. Podem resultar da evolução de dunas parabólicas.</p>
<p><b>Nebkas (sombra)</b></p> 	<p>Acumulações de areia de forma isolada na alta praia. Ao encontrar um obstáculo: pedra ou vegetação, eventualmente, acabam por se unir formando o que é considerado como duna embrionária.</p>

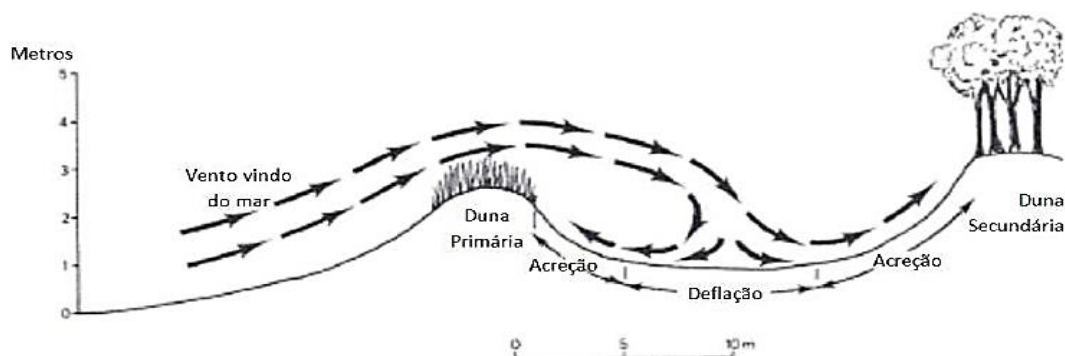
A disponibilidade sedimentar de uma praia está intimamente relacionada com o desenvolvimento dunar, sendo que a elevada disponibilidade gera uma série de cordões dunares paralelos e progradantes (Seoane *et al.*, 2007).

Do ponto de vista morfológico, os ecossistemas dunares subdividem-se em diversas zonas, sendo a primeira geoforma num sistema progradante (observado num transecto do mar para terra), a duna embrionária. Esta corresponde à duna mais jovem e é composta pela união de montículos isolados de génese eólica, localizada entre a praia e o cordão dunar frontal, que se desenvolve onde o fornecimento sedimentar é constante. Para além de ser um local onde a ação humana se faz sentir, encontra-se sujeita à ação direta das ondas nas marés vivas e em condições de tempestade, o que influencia a salinidade.

Por este motivo, a colonização de plantas pioneiras é difícil, traduzindo-se num número reduzido de espécies, sendo a gramínea *Elymus farctus* (feno-das-areias) uma das espécies vegetais características das dunas embrionárias (Hesp, 2002; Ley *et al.*, 2007; Seoane *et al.*, 2007).

O contínuo desenvolvimento ou a coalescência de diversas dunas embrionárias forma a designada duna primária (*foredune*). Nesta, a espécie dominante é *Ammophila arenaria* (estorno), existindo também espécies como *Otanthus maritimus* (cordeirinho-das-dunas) e *Euphorbia paralias* (morganheira-das-praias). O estorno é o elemento essencial para a fixação da areia e estabilização da duna, sendo o seu desenvolvimento estimulado pela deposição de sedimentos. A duna primária é também designada por duna branca, tendo em consideração o seu coberto vegetal parcial e das cores glaucas dominantes das plantas (INCB, 2000, Seoane *et al.*, 2007). As dunas primárias caracterizam-se pelo intercâmbio sedimentar entre a praia e a duna, que consoante as escalas temporais, pode aumentar, diminuir ou manter-se estável. Em consequência, a duna primária pode progradar, manter-se e agradar na vertical ou transgredir em direção a terra (Psuty, 2004, Seoane *et al.*, 2007).

Após a duna primária segue-se o espaço interdunar, que é definido como uma zona depressionária, normalmente alongada e paralela à linha de costa. É uma região favorável à proliferação de vegetação que, cobrindo o solo, se propaga para o interior, dado que está abrigada da ação dos ventos (Ley *et al.*, 2007) e mais próxima do nível freático. A acreção de sedimentos ocorre nas faces das dunas primária e secundária, segundo o fenómeno de deflação, causado pelo vento proveniente do mar (Bird, 2001) (Figura 3.1). Nas zonas temperadas, durante o Inverno, estas depressões podem estar ocupadas por água doce devido à elevação do nível freático (Seoane *et al.*, 2007).



**Figura 3.1** - Processo de formação de depressões interdunares (Adaptado de Bird, 2001).

Seguido do espaço interdunar localiza-se a duna secundária (duna cinzenta ou penestabilizada), onde se desenvolvem espécies vegetais mais complexas, como *Helichrysum italicum* (perpétua-das-areias), *Armeria pungens* (cravo-das-areias), entre outras. É uma zona abrigada da ação dos ventos e do mar, onde as condições para o desenvolvimento de espécies vegetais são melhores, o que permite também uma maior estabilidade das partículas arenosas (Seoane *et al.*, 2007).

A duna terciária é a mais afastada da linha de costa e onde já não ocorre movimentação das partículas arenosas. É também denominada de duna castanha ou estabilizada, com solo desenvolvido e maior densidade e complexidade de comunidades vegetais, como *Pinus pinea* (pinheiro manso). Normalmente é uma região controlada pelo Homem, uma vez que nestas áreas são colonizadas espécies alóctones para a estabilização das dunas, verificando-se por isso pouca vegetação natural.

### 3.2. Estado de conservação das dunas

Short & Hesp (1982) e Hesp (1988) definem as dunas frontais como dunas paralelas à costa onde a morfologia é controlada pelo vento e pela vegetação. Hesp (1988) estabelece dois tipos morfológicos principais: as dunas incipientes e as dunas estabilizadas. As primeiras representam as dunas frontais ativas, formadas pela deposição de areia com vegetação pioneira na alta praia, que poderão eventualmente estabilizar com o crescimento de vegetação. Já as dunas estabilizadas são, como o nome indica, estáveis desenvolvendo-se devido ao fornecimento sedimentar e ao grau e tipo de coberto vegetal. Apresentam-se morfolologicamente mais complexas e dependentes da morfologia das dunas incipientes.

Short & Hesp (1982) criaram uma classificação essencialmente morfoecológica que compreende cinco categorias ou estados, onde cada estado (de desenvolvimento ou degradação) do corpo dunar frontal é identificável por uma morfologia típica e uma gama de coberto vegetal representativo de um estado de conservação diferente. A intensidade da degradação aumenta do estado 1 para o estado 5.

O estado 1 é caracterizado por dunas frontais muito bem vegetadas (>90% da superfície coberta por vegetação) e de cume estável (Figura 3.2). A elevada presença de vegetação limita a possibilidade de se desenvolverem formas erosivas como os *blowouts*. O seu perfil é ligeiramente assimétrico, onde a face barlavento exibe um declive suave e a face sotavento um declive mais acentuado. Apresentam-se lateralmente contínuas, com cristas normalmente bem estabelecidas devido à cobertura significativa de vegetação. A presença de escarpas é incomum, porém em situações de tempestade o espraio pode ocasionalmente atingir a duna, erodindo as areias mais finas ou contribuir para a perda de vegetação.



Figura 3.2 - Melhor estado de conservação - estado 1 de Hesp, 1988.

No estado 2 as dunas frontais apresentam uma morfologia semelhante ao primeiro, com exceção da percentagem de coberto vegetal, que é agora de 75-90% (Figura 3.3). Nestas dunas podem existir pequenas manchas vegetadas alternando com outras manchas de reduzida extensão (< 4 m<sup>2</sup>) sem vegetação. Nos locais onde a cobertura vegetal é mais baixa, ocorrem ocasionalmente corredores de deflação (*blowouts*), porém com pouca expressão e normalmente lineares.

A face barlavento é indicada como a zona de maior acreção, promovida pelo transporte sólido eólico da alta praia e das dunas embrionárias existentes para a face e crista da duna. Associados a episódio de galgamento, ocasionalmente são formadas escarpas pequenas principalmente no sopé da face barlavento. Estas escarpas, pouco frequentes, permanecem estáveis e com envergadura de acordo com a altura da crista e a velocidade do vento. Assim, a alternância de episódios de crescimento e erosão favorece valores elevados de acreção na face barlavento, embora intermitentes. A face sotavento também apresenta sintomas de acreção significativa, onde o transporte de areia ocorre da face barlavento para o interior.



Figura 3.3 - Estado de conservação 2 do Hesp, 1988.

As dunas frontais mais comuns são representadas pelo estado 3, onde tipicamente a superfície passa lateralmente de vegetada para não vegetada (Figura 3.4). Apresentam cristas irregulares e cumes (cristas) discretos, configurando uma morfologia amontoada, designada na literatura anglo-saxónica por *hummocky*. Neste estado a percentagem de solo coberta por vegetação varia entre os 45 e os 75%.

A presença de *blowouts* já se faz sentir, sendo maioritariamente dispersos e de dimensão pequena a moderada (com largura <10 m a 30-40 m no máximo). A face barlavento exhibe-se mais côncava e a sotavento mais íngreme. Em relação às escarpas, estas são mais comuns e contribuem para a perda significativa de vegetação e/ou sedimentos.



**Figura 3.4** - Estado de conservação 3, o mais comum das dunas frontais (Hesp, 1988).

No estado 4 (Figura 3.5) as dunas frontais apresentam escalas de ambientes deposicionais e erosivos maiores, sendo caracterizadas pela presença de *blowouts* de escala moderada a larga, frequentemente côncavos e com paredes escarpadas. A vegetação cobre cerca de 20-45% da superfície que apresenta grande variabilidade topográfica, isto é, existem diversos cumes intercalados por depressões profundas, por vezes vegetadas. A face barlavento é frequentemente menos vegetada e geralmente côncava, sendo o potencial de transporte realizado no sentido da face sotavento. As cristas das dunas são assimétricas e tendencialmente pouco marcadas devido à expressão pouco significativa de coberto vegetal.



**Figura 3.5** - Dunas frontais com presença de *blowouts*, caracterizadas como o quarto estado de conservação de Hesp, 1988.

O estado 5 corresponde ao estado de máxima degradação do edifício eólico, pela remobilização de sedimentos induzida pela ação do vento e das ondas, caracterizado por discretos montículos de areia, isolados, geralmente com pouca vegetação remanescente. Os *blowouts* coalescem por erosão lateral e dependem essencialmente do tipo e quantidade de vegetação dominante (<20%) (Figura 3.6).



**Figura 3.6** - Pior estado de conservação das dunas frontais – estado 5 (Hesp, 1988).

### 3.3. Vegetação dunar

A vegetação responsável pela fixação das areias de duna pode ser agrupada em três tipos distintos (Tabela 3.2.), tendo em consideração a sua adaptação morfológica e fisiológica às condições existentes neste tipo de ecossistema (García-Mora *et al.*, 1999, 2000; William *et al.*, 2001; Gomes *et al.*, 2002).

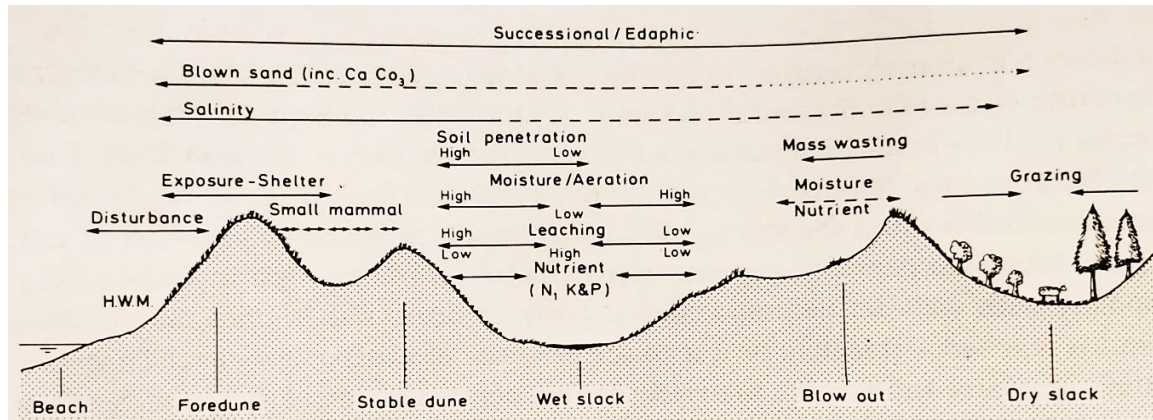
**Tabela 3.2 - Vegetação comum nos sistemas dunares costeiros, distribuição espacial e características relevantes.**

	<b>Características</b>	<b>Localização preferencial</b>	<b>Exemplos</b>
<b>Tipo I</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Pequeno porte (&lt;15 cm)</li><li>- Sistema radicular aprumado</li><li>- Folhas macias (sistemas foliculares não apresentam adaptações específicas)</li><li>- Espécies anuais de Inverno</li></ul>	Dunas interiores ou sujeitas a menor influência marinha (onde as partículas arenosas são mais estáveis)	<i>Medicago littoralis</i>
<b>Tipo II</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Rede de raízes profundas e ramificadas</li><li>- Folhas rijas, suculentas e pubescentes</li><li>- Espécies perenes</li></ul>	Mais comuns nas faixas onde a ação das marés e a mobilidade das areias ocorre, dada a maior quantidade de matéria orgânica	<i>Armeria pungens</i> , <i>Artemisia crithmifolia</i> , <i>Carpobrotus edulis</i> , <i>Crucianella maritima</i> , <i>Helichrysum picardii</i> , <i>Silene littorea</i> .
<b>Tipo III</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Grande porte (&gt;15 cm)</li><li>- Sistema radicular muito ramificado e/ou profundo</li><li>- Folhas suculentas, pubescentes e com forte cutícula</li><li>- Plantas perenes ou anuais de Verão</li></ul>	Presença nas faixas onde dominam as condições mais adversas do sistema dunar (beneficiam da abundância de nutrientes)	<i>Ammophila arenaria</i> , <i>Cakile maritima</i> , <i>Calystegia soldanella</i> , <i>Elymus farctus</i> , <i>Salsola kali</i> , <i>Medicago marina</i>

As espécies tipo I são indicadoras de dunas estabilizadas, uma vez que estas espécies são sensíveis às alterações impostas por ondas e ventos, sendo raramente visíveis nas dunas mais próximas do mar. Apresentam pouca capacidade de retenção de areias e de estruturação de dunas. O tipo II corresponde a espécies capazes de se adaptar à pressão ambiental costeira, tendo capacidade de retenção de areia, mas não de estruturação das dunas. As espécies que se enquadram no tipo III são bons indicadores biológicos do estado de conservação, uma vez que são capazes de suportar a influência marinha e mobilização das areias, assim como resistir ao soterramento. Apresentam uma maior capacidade de formação e estruturação das dunas, sendo a sua abundância sinal de menor vulnerabilidade do sistema dunar.

A vegetação dunar distribui-se ao longo do perfil mar-terra, de acordo com a adaptação aos fatores abióticos a que se encontram sujeitos/expostos (Figura 3.7 e Anexo2.). As espécies adotam estratégias de natureza morfológica, anatômica, fenológica e fisiológica para sobreviverem à austeridade do meio (Namboothri *et al.*, 2008), sendo estes fatores e adaptações discutidos por diversos autores tais como Carter (1991), Costa (2001), Ley *et al.* (2007) e Namboothri *et al.* (2008).





**Figura 3.7** - Principais fatores abióticos a que as dunas estão sujeitas ao longo do perfil mar-terra.

Fonte: Carter, 1991.

Junto à alta praia as condições são adversas, com elevada salinidade e perturbações diretas produzidas pelas ondas e ventos. As espécies *Cakile maritima* (eruca-marítima) e *Salsola kali* (soda-espinhosa) são de crescimento rápido, porém, apenas colonizam este espaço durante o período de crescimento ativo. Estas espécies, como também *Polygonum maritimum* (polígono marítimo) e *Euphorbia peplis* (maleiteira-das-areias) são exemplos de espécies que resistem à salinidade e à inundação pela água do mar e necessitam de detritos orgânicos que abundam nesta zona. Já a espécie *Pancratium maritimum* (narciso-das-areias) efetua a sua adaptação pela dispersão das sementes através da água.

Nas dunas embrionárias é abundante a presença de *Elymus farctus* (feno-das-areias) acompanhada por *Ammophila arenaria* (estorno). Estas espécies permitem a estruturação da duna, uma vez que o seu ciclo de vida é longo (são espécies perenes). O estorno não suporta inundações e no seu lugar desenvolve-se o feno-das-areias, mais resistente à inundação. Relativamente ao soterramento, estas espécies adaptam-se através da estimulação do crescimento e apresentam aptidão para formar rizomas horizontais e verticais.

As espécies *Euphorbia paralias* (morganheira-das-praias), *Otanthus maritimus* (cordeiros-da-praia) e *Eryngium maritimum* (cardo-marítimo) são alguns dos exemplos de espécies que também colonizam as dunas embrionárias, embora em menor abundância.

A duna primária, sendo uma forma evoluída a partir da duna embrionária, apresenta uma flora semelhante à referida acima, porém mais rica e desenvolvida. O efeito do vento e a influência marinha são menores, assim como a presença de nutrientes e água. A abundância da gramínea *Ammophila arenaria* permite e promove a acumulação de sedimentos. Esta espécie é acompanhada pelo feno-das-areias, a morganheira-das-praias, os cordeiros-da praia, o cardo-marítimo e *Medicago marina* (luzerna-da-praia).

O estorno e o feno-das-areias resistem à elevada temperatura e intensidade luminosa através das folhas cilíndricas, enquanto os cordeirinhos-da-praia e a luzerna-das-praias se adaptam através das cores claras que exibem, refletindo o excesso de luz. O cardo-marítimo apresenta folhas espinhosas cobertas por cera que as protege da desidratação.

As leguminosas que fixam o azoto (por exemplo a luzerna-da-praia) ou espécies como o estorno, que apresenta microrrizas nas raízes, são duas espécies que se adaptam bem a ambientes pobres em nutrientes.

Algumas plantas resistem à exposição ao vento, protegendo as dunas do impacto mecânico direto das areias transportadas pelo vento, sendo o cardo-marítimo, *Calystegia soldanella* (couve-marinha) e *Artemisia crithmifolia* (erva-lombrigueira) bons exemplos. A generalidade das gramíneas possuidoras de colmos flexíveis ou hábito amoitado ou almofadado, também se incluem nas plantas resistentes a este fator ambiental.

As espécies *Ammophila arenaria* e *Elymus farctus*, apresentadas como espécies tipo III, são indicadoras da condição dos sistemas dunares. A escassez ou ausência de *Ammophila arenaria* pode denunciar um sistema dunar degradado, estando a frente dunar vulnerável aos galgamentos oceânicos. Já a abundância de *Elymus farctus* espelha a estruturação ou reestruturação do corpo dunar, uma vez que são espécies pioneiras (Silva *et al.*, 2004).

As espécies que apresentam sistemas radiculares superficiais, como *Silene litorea* (alfinetes-das-areias), têm facilidade na captação de água de precipitação ou vapor de água, adaptando-se assim a épocas de maior secura. A *Salsola kali* (soda-espinhosa) e *Carpobrotus edulis* (chorão-das-praias) adaptam-se à escassez de água através de redução foliar e a pela presença de caules e folhas suculentas, respetivamente, onde armazenam reservas de água. A espécie *Juniperus turbinata* (zimbardo-das-areias) devido às folhas com forte cutícula consegue adaptar-se à perda excessiva de água.

À medida que aumenta a distância para terra observam-se condições menos adversas, apresentando-se as dunas mais protegidas contra as inundações de água do mar, maior salinidade e ação dos ventos. A vegetação característica das dunas secundárias inclui as espécies: *Corema album* (camarinha); *Artemisia crithmifolia* (madorneira); *Helichrysum italicum* ssp. *Picardi* (perpétua-das-areias ou caril-das-areias); *Helichrysum picardii*, *Thymus carnosus* (tomilho-das-praias); *Armeria pungens* (cravo-das-areias ou erva divina); *Sedum sediforme* (erva pau); *Crucianella maritima* (granza-de-praia); *Othanthus maritimus* (cordeirinho-de-praia) e *Pancratium maritimum* (narciso-das-areias) (Costa, 2001).

No interior, aumenta a densidade e diversidade de vegetação, tornando-se também mais complexa. A estabilização dos sedimentos em Portugal, com intuito de proteger terrenos agrícolas ou áreas urbanizadas, foi efetuada através da introdução de *Pinus pineaster* (pinheiro bravo) e diversas espécies de acácias: *Acacia saligna*, *Acacia retinoides*, acácia-de-espigas (*Acacia longifolia*), acácia-mimosa (*Acacia dealbata*). Estas espécies prosperaram e dominaram toda a zona acabando por diminuir a plantação rasteira natural e prejudicar o crescimento de espécies nativas (m-almada.pt, 2019).

Além das espécies nativas existem outras consideradas exóticas, resultantes de atividades agrícolas ou de alguma maneira introduzidas pelo Homem. A presença de *Carpobrotus edulis* (chorão-da-praia) numa vasta área promove a destruição da vegetação autóctone, servindo com indicadora do estado de degradação e vulnerabilidade das dunas (Costa, 2001).

### 3.4. Degradação dos sistemas dunares

As dunas são particularmente suscetíveis aos agentes forçadores de natureza marinha (por exemplo ondas ou marés) e dependem do fornecimento de areias transportadas pela deriva litoral, que alimentam a praia. A sua estabilidade está também relacionada com a presença de vegetação e com as atividades antrópicas, como referido acima (Gomes *et al.*, 2002).

Portugal foi um dos países da Europa com maior crescimento populacional junto à linha de costa no período 1990-2000 e também o país que maior área de dunas costeiras perdeu, essencialmente devido à construção urbana ou de infraestruturas de turismo (EEA, 2006). A região da Caparica é um bom exemplo destas transformações, como referido anteriormente. A proliferação de ocupações (edificado urbano, ferrovias, parques de campismo, rodovias e acessos pedonais, parques de estacionamento) sobre as dunas frontais, a que se soma a criação de espaços agrícolas nas dunas interiores, foram (e são) causas importantes da degradação dos edifícios dunares na área de estudo, com maior importância do que outros fatores referenciados na literatura, como o pastoreio, os incêndios florestais ou a construção de campos de golfe (Seoane *et al.*, 2007; Almeida, 2001).

Para norte e sul da Costa da Caparica (onde a urbanização eliminou totalmente as formas eólicas originais) ocorre uma grande utilização das praias, com o intenso pisoteio por parte de pessoas, veículos e animais, que provocam a destabilização da duna e a remobilização de areia visto que destroem a vegetação, não dando oportunidade a que esta se regenere. Este é o caso do estorno, por exemplo, que não resiste à exposição das raízes, permitindo a abertura de corredores eólicos ou *blowouts* pelo vento (Gomes *et al.*, 2002), facilitando, por sua vez, a penetração de galgamentos oceânicos (Laranjeira, 1997).

A colonização por espécies exóticas, invasoras, como é o caso do *Carpobrotus edulis* (chorão-de-praia) que inibe o crescimento de espécies nativas (Seoane *et al.*, 2007) também ocorreu na região em estudo. A presença desta espécie pode levar à modificação relevante da morfologia dunar, uma vez que apresenta um crescimento rápido e muito vigoroso e tende a colonizar todo o cordão dunar, inibindo a movimentação de areias. Porém, as raízes apumadas desta espécie têm eficácia muito reduzida na estruturação do edifício, tornando-o mais suscetível à erosão do que quando era colonizado por outras espécies autóctones.

Na região norte, correspondente ao troço de São João da Caparica, o recuo pronunciado da linha de costa ocorrido após as operações de reflorestação, levou à amputação significativa dos campos de dunas interiores, pelo que a duna frontal à praia, observável hoje, apresenta uma morfologia em crescimento, com vegetação parcialmente herdada dessas operações.

Para sul da Costa da Caparica o recuo da costa foi menos intenso. Neste segmento, a variabilidade sazonal a interanual do forçamento oceanográfico e atmosférico, em combinação com os fatores de degradação associados à instalação de acessos às praias, a substituição de vegetação autóctone e o pisoteamento (associado à abertura de acessos, transversais ao alongamento da costa mas também de trilhos pedestres que cruzam os campos de dunas), acrescido de ocupação localizada por equipamentos de praia e algumas cabanas relacionadas com a atividade piscatória, serão os principais fatores de degradação. No extremo sul da área de estudo, na povoação da Fonte da Telha voltam a prevalecer os fatores de degradação referidos na Costa da Caparica.

### 3.5. Preservação e recuperação dos sistemas dunares

A recuperação natural dos edifícios dunares é bastante lenta, porém a intervenção humana poderá acelerar estes processos, revertendo em alguns casos os efeitos negativos da ocupação desordenada, ou não devidamente planeada, do espaço dunar. As intervenções de recuperação são implementadas de acordo com a magnitude das alterações, permanentes ou temporárias, impostas à geomorfologia e à vegetação naturais.

Outro aspeto a considerar é a dimensão do horizonte temporal a que se espera que os resultados de intervenção se concretizem, da ordem de algumas décadas na generalidade dos casos (Teixeira & Pires, 2017). Para além dos valores ambientais que a recuperação destes sistemas permite, existe ainda como justificativo para a adoção destas intervenções o facto de as dunas formarem uma barreira eficiente contra a ação do mar, entre os domínios costeiro e terrestre (Teixeira & Pires, 2017).

As alterações de remodelação estrutural e ecológica das dunas, com a sua artificialização (construção de edifícios e parques de campismo), estradas ou o reflorestamento, entre outros provocam efeitos permanentes nos edifícios dunares. Já as alterações induzidas pelo pisoteio pedestre e passagem de carros ou animais serão possíveis de reversão a médio prazo (García-Mora *et al.*, 1999; Seoane *et al.*, 2007). Estas ações de pisoteio e circulação de veículos motorizados foram proibidas pelo Dec-Lei nº218/95 de 26 de agosto).

O ordenamento ideal para o uso do espaço costeiro constituído por um sistema praia-duna deve incluir a redução dos impactos, começando na praia e progredindo para o interior (Carter, 1998), com a execução de diversas metodologias capazes de proteger e recuperar este sistema.

Existem diversos métodos capazes de gerar acumulações dunares, aumentar a envergadura das dunas pré-existentes ou incrementar-lhes a mobilidade (ou estabilidade) regulando os processos de acumulação-remobilização de areias, quer junto à praia, quer sobre os próprios edifícios dunares, nomeadamente nos locais onde a duna se encontre total ou parcialmente destruída (Bush, 2004).

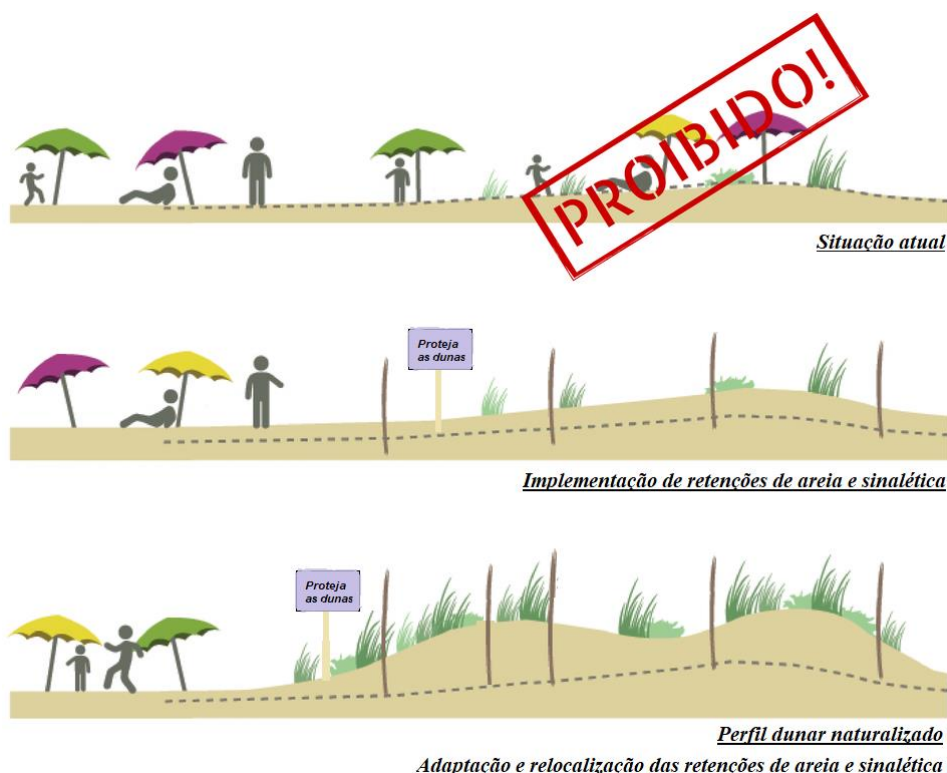
A duna primária representa a zona que mais (ou primeiro) importa defender, tendo em conta a sua vulnerabilidade ao pisoteio, e também porque o corpo dunar está mais exposto ao vento (Rocha, 2011). Sobre esta duna devem ser efetuadas intervenções que visem a proteção, crescimento e multiplicação da vegetação natural, limitando a possibilidade de atravessamento através da instalação de vedação periférica do espaço dunar e substituição de trilhos e caminhos por passadiços sobrelevados (Freire, 1989; Carter, 1991; Bush, 2004; Seoane *et al.*, 2007). Estas medidas permitem a inibição do pisoteio desordenado e, em simultâneo, o livre-trânsito das areias e crescimento de vegetação (Teixeira & Pires, 2017).

Como medida complementar, mas tão relevante como a instalação de infraestruturas de atravessamento torna-se imprescindível incluir no conjunto das medidas a colocação de painéis informativos sobre os valores naturais intrínsecos ao ecossistema dunar, para que os utilizadores (nomeadamente os veraneantes) respeitem as interdições e condicionamentos impostos (Bush, 2004).

A implantação de sistemas para retenção de areia, naturais ou artificiais, para além de serem de fácil colocação e baixo custo, são medidas sem impactos negativos a médio prazo e eficazes na preservação e crescimento (eventualmente, estabilização) dos corpos dunares e na colmatação de estruturas de deflação ou galgamento (Freire, 1989; Nordstrom, 2000; Seoane *et al.*, 2007; O'Connell, 2008;).

As retenções de areia podem ser orgânicas, vivas, consistindo em plantas introduzidas no areal que se pretende seja colonizado, e/ou estruturas biofísicas do tipo das paliçadas, constituídas por alinhamentos de varas secas de vime ou de madeira.

Estes alinhamentos são regra geral instalados de forma a oferecer barreira aos ventos eficazes (não necessariamente os predominantes) e funcionam como captadores flexíveis que devem ser colocados nas dunas embrionárias e primárias, excecionalmente no domínio da alta praia. Uma intervenção desta natureza envolve tipicamente várias fiadas, dispostas paralelamente entre si e perpendicularmente ao regime dos ventos eficazes. Devem ser impermeáveis à passagem de material arenoso, contribuindo para a deposição do material transportado pelo vento e, à medida que vão sendo soterradas, devem ser elevadas ou renovadas (Freire, 1989; Seoane *et al.*, 2007) (Figura 3.8).



**Figura 3.8** - Processo de reconstrução dunar. Adaptado de arqOUT.pt, 2014.

A plantação de espécies herbáceas adaptadas às condições biofísicas do local, como por exemplo de feno-das-areias na duna embrionária e de estorno na duna primária, a par da erradicação de espécies exóticas invasoras (veja-se a este respeito a Resolução de Conselho de Ministros n.º178/2008, de 24 de novembro e Dec-Lei n.º92/2019, de 10 de julho), também constitui medida muito relevante de recuperação do sistema dunar, visto que permite restaurar espécies autóctones e estender a superfícies amplas os efeitos de retenção de areia; se as plantas introduzidas sobreviverem, os custos de manutenção reduzem-se significativamente face aos envolvidos na reparação e restauro de paliçadas.

A duna de São João da Caparica é um exemplo da aplicação destes dois tipos de intervenção, com sucesso notável em intervalo de tempo relativamente pequeno (Silva, 2012; Rato, 2017). Também a praia da Mata foi objeto do mesmo tipo de intervenções, como apresentado e discutido mais adiante neste trabalho.

Uma solução de regeneração natural ou conservação mais drástica (e onerosa) consiste na demolição ou realocização de construções em locais mais expostos ao vento que, pela sua localização e efeito de obstáculo podem produzir perturbação significativa do regime de escoamento eólico a sotavento, afetando os padrões naturais da circulação e abastecimento sedimentar.

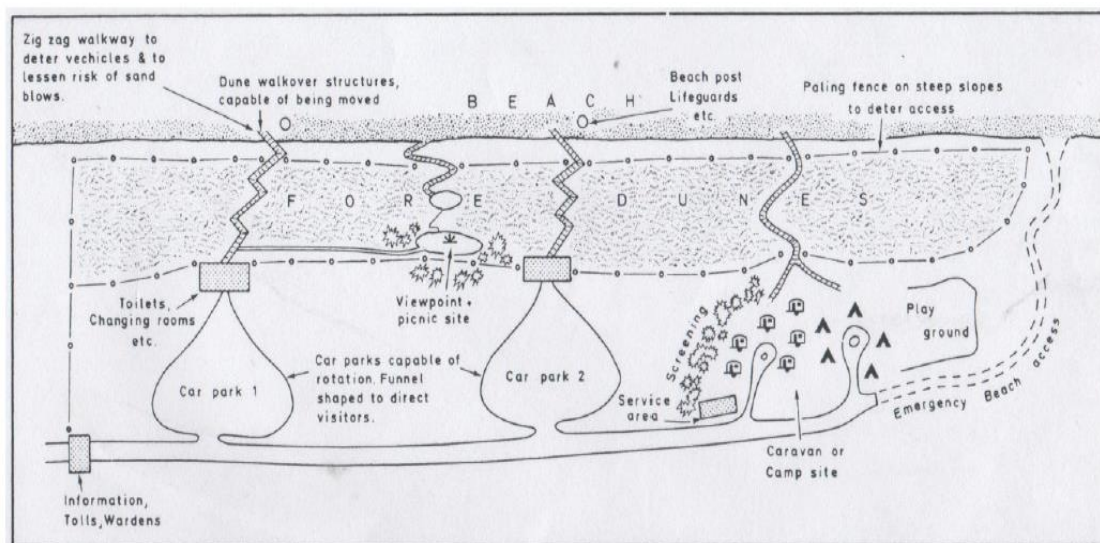


Seoane *et al.*, (2007) menciona ainda situações extremas em que os edifícios dunares podem ser integral ou parcialmente (re) construídos através da deposição e modelação de aterros de areia com auxílio de maquinaria com o objetivo de reconstrução da topografia dunar.

O reconhecimento dos valores e serviços ambientais (e económicos) associados ao ecossistema dunar e a necessidade de os salvaguardar para fruição de todos, encontra expressão e justificação num conjunto de instrumentos legais, que regulam o direito de propriedade e os usos do espaço costeiro nacional ou avançam restrições à sua ocupação.

São deles exemplos a Estratégia Nacional para a Gestão Integrada da Zona Costeira (ENGIZC) (Resolução do Conselho de Ministros 82/2009 de 8 de setembro) que evidencia a crescente preocupação com o planeamento integrado das zonas costeiras, os Planos de Ordenamento da Orla Costeira (POOC) (Decreto-Lei 113/97 de 10 de maio), recentemente substituídos pelos Programas de Orla Costeira (POC) (Lei 31/2014, de 30 de maio), o Decreto-Lei n.º 124/2019, de 28 de agosto, que estabelece o regime jurídico da Reserva Ecológica Nacional (REN), a Lei 19/2014 de 14 de abril, que define as bases da política de ambiente ou o Decreto-lei n.º 159/2012, de 24 de julho que incide sobre a proteção de sistemas biofísicos costeiros.

A preservação dos valores ambientais não é de todo incompatível com o uso e fruição do espaço costeiro, pelo que o ordenamento deste território deve corresponder ao melhor compromisso possível, em cada local e em cada momento, entre conservação e uso. A Figura 3.9 sintetiza um modelo de uso e ocupação do solo em litorais providos de praia e sistemas dunares, que exemplifica este tipo de compromisso.



**Figura 3.9** - Estrutura ideal de alocação do espaço dunar em sistemas costeiros com dunas segundo Carter, 1991.

Neste modelo, a praia (e em particular na alta praia) alberga, com moderação apenas construções leves e amovíveis, como os apoios de praia simples (e.g. contentores de recolha de lixo, posto de vigia, primeiros -socorros), em locais preferencialmente menos expostos ao vento.

A circulação de veículos motorizados sobre o campo dunar é interdita, a densidade de ocupação e a superfície ocupada e perturbada diminuem exponencialmente de terra para o mar. As áreas (necessariamente significativas) reservadas a estacionamento automóvel, campismo, equipamentos de praia mais robustos ou parques de merendas são deslocadas para terra do campo dunar ou localizadas em espaços interdunares, no domínio das dunas secundárias ou terciárias.

A faixa onde os processos eólicos são ativos, bem como os espaços já estabilizados são atravessados exclusivamente através de estruturas levantadas e amovíveis, e a configuração dos espaços de lazer e de circulação são desenhados para dirigir os utentes ou visitantes aos acessos e vias de comunicação, ao longo das quais se instalam painéis informativos, e para lá dos quais existem barreiras dissuasoras do atravessamento.

Não sendo único, este modelo partilha muitas características com os modelos de organização do espaço adotados na legislação nacional e que têm vindo a ser implementados. No caso do litoral em estudo, pese embora o progresso alcançado desde os anos 80 do século XX, resta ainda muita margem para melhoria da condição ambiental dos sistemas dunares costeiros.

Esta ideia de requalificação do espaço costeiro foi apresentada ao abrigo do Programa Costa Polis, porém, até 2013 (data de término dos trabalhos) as dunas em estudo não sofreram qualquer intervenção. Atualmente, o POC Alcobaça-Cabo Espichel aprovado pela Resolução do Conselho de Ministros nº66/2019, de 11 de abril, apresenta os planos de intervenção de algumas das praias em estudo, propondo a realocação dos apoios de praia, a demolição de outras infraestruturas e a recuperação da vegetação dunar, com base nas faixas de salvaguarda do local.

## 4. Metodologia

Neste capítulo descrevem-se os métodos de campo, laboratório e gabinete utilizados no estudo da evolução morfológica das dunas costeiras da região da Costa da Caparica e na caracterização do estado de conservação das dunas. Também são descritas as principais metodologias aplicadas para avaliar o desempenho das estruturas de contenção de areia colocadas na praia da Mata e no estudo da variabilidade sazonal e interanual da praia das praias a sul do centro urbano da Costa da Caparica.

### 4.1. Trabalho de campo

O trabalho de campo teve como principais objetivos: caracterizar a morfologia do sistema dunar, através de reconhecimento visual da mesma, incluindo a presença, frequência e desenvolvimento de corredores de deflação e ainda a realização de levantamentos topográficos; a observação e caracterização das principais manchas de vegetação e da diversidade de espécies; a recolha de sedimentos da praia e duna para análise posterior e, a identificação dos padrões de ocupação e uso do solo do sistema dunar.

Nas dunas da Nova Praia, praia da Saúde, praia da Mata, praia da Rainha, praia da Bela Vista e num troço que apresenta melhor estado de conservação a cerca de 640 m desta última, efetuou-se a identificação (qualitativa) das espécies dominantes colonizadoras do espaço dunar, com o intuito de suportar a classificação do estado de conservação/degradação do mesmo.

#### 4.1.1. Levantamento topográfico da duna da praia da Mata e de praias a sul da Caparica

Para a caracterização morfológica do corpo dunar da Praia da Mata foi efetuado um levantamento topográfico sistemático da totalidade da duna para sul do acesso à praia, no dia 17 de junho de 2019. Nesta campanha foram também levantados perfis transversais à duna, com início no seu tardo, junto à linha de caminho-de-ferro (*Transpraia*), que se prolongaram pela praia até à cota 0 m (NMM).

No total foram levantados 9155 pontos com recurso a equipamento GNSS (*Global Navigation Satellite System*) da marca *Leica Geosystems* (modelos GPS 900 e *NetRover*) que permite realizar correção diferencial em tempo real através do serviço da ReNEP<sup>2</sup> (Rede Nacional de Estações Permanentes) disponibilizado pela Direção Geral do Território (DGT).

Para o estudo da variabilidade sazonal a interanual das praias da Saúde, da Rainha e da Bela Vista, e para a análise da sua tendência evolutiva, foram também obtidos os dados de perfis topográficos levantados perpendicularmente à orientação geral da linha de costa, segundo o perfil de referência pré-estabelecido no projeto CISML (Silveira *et al.*, 2013), e no âmbito daquele projeto, em três campanhas (abril, junho e outubro) que marcam estações do ano distintas. Para além do projeto CISML, também se obtiveram dados resultantes de monitorização efetuada pelo Departamento de Geologia da FCUL no âmbito de protocolos de colaboração com o Município de Almada.

As campanhas de abril e início de outubro correspondem ao fim do inverno e do verão marítimos, respetivamente, quando as praias atingem o pico da sua variação topográfica. A campanha de junho foi realizada para permitir acompanhar a variação sazonal da praia e a tendência de evolução da mesma no ano de 2019. Os levantamentos dos dados foram efetuados preferencialmente em marés vivas com a recolha de dados na estufa da maré baixa, para garantir leitura do domínio intertidal da praia.

---

<sup>2</sup> A ReNEP é um serviço público de geoposicionamento prestado pela Direção Geral do Território (DGT) que, no âmbito das suas atribuições de manutenção do Referencial Geodésico Nacional, disponibiliza aos utilizadores de equipamentos GPS dados que facultam a determinação de coordenadas geográficas com precisão melhor que 10 cm (retirado de <http://renep.dgterritorio.gov.pt/>).



Os dados dos levantamentos topográficos para a praia da Mata e da Rainha foram adquiridos de forma cinemática, isto é, os pontos foram adquiridos em movimento (auto-point) e com resolução horizontal de 1 m, no sistema de coordenadas ETRS89/PT-TM06 (*European Terrestrial Reference System 1989/Portuguese Transverse Mercator Projection* de 2006). Os dados de altimetria referem-se ao NMM de acordo com o *datum* altimétrico de Cascais de 1938.

A verificação da qualidade altimétrica dos pontos levantados baseou-se nos procedimentos definidos no projeto CISML (Silveira *et al.*, 2013) que incluíram a implantação e medição rigorosa de uma rede de pontos de referência. A qualidade foi avaliada através da diferença entre a cota do ponto de referência da praia da Rainha (Tabela 4.1), reportada naquele trabalho, e a cota do mesmo ponto medida em campo, tendo-se considerando válida sempre que o desvio fosse inferior a  $\pm 0,05$  m.

**Tabela 4.1** - Coordenadas planimétricas (Easting, Northing) e elevação do ponto de referência (cota (NMM)) em unidades métricas.

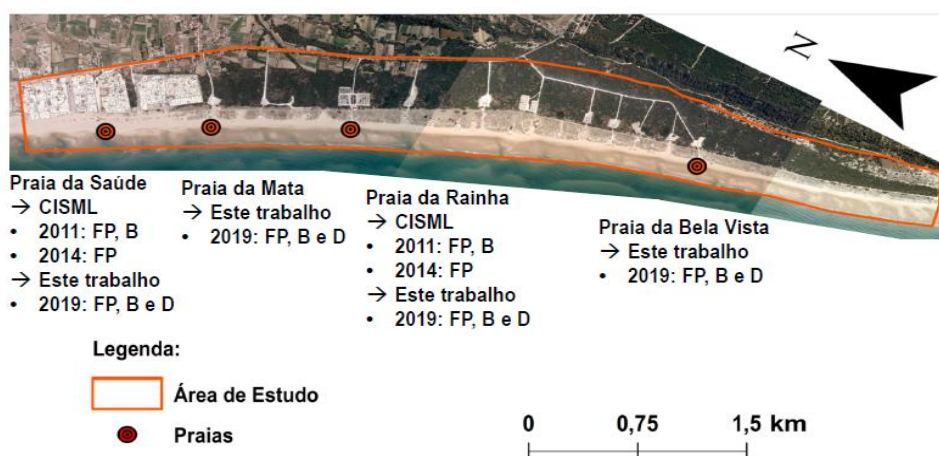
Ponto RA2	Easting	Northing	Cota (m)
Referência (CISML)	-94409.1778	-116179.0566	5.209

#### 4.1.2. Amostragem de sedimentos

Para a caracterização da granulometria dos sedimentos de praia e duna, bem como possibilitar avaliação da sua variabilidade espacial e no tempo foram colhidas amostras de sedimento a meio da largura da berma e sensivelmente à cota 0 m da face de várias praias da região a sul da Caparica (Figura 4.1). No contexto deste trabalho foram ainda selecionados os resultados da análise granulométrica de amostras colhidas no âmbito do projeto CISML, nas praias da Saúde e Rainha, em abril de 2011 e 2014.

Foram amostradas em 2019, areias da face barlavento da duna nas praias anteriormente mencionadas, como também da berma, face de praia e duna da Praia da Mata e da Praia da Rainha. Do total de 18 amostras, 4 são de duna, 6 de berma e 8 de face de praia.

As amostragens foram efetuadas na camada superficial de sedimento, de modo a garantir a assinatura do último evento deposicional, e o sedimento foi armazenado em sacos de plástico devidamente identificados com data, nome de praia e local de amostragem.



**Figura 4.1** - Locais de amostragem. FP - Face de Praia, B - Berma, D - Duna.

## **4.2. Trabalho de laboratório**

### **4.2.1. Granulometria dos sedimentos**

A realização de uma análise dimensional permite descrever a granularidade de uma amostra, isto é, o “tamanho” médio dos grãos constituintes, e a dispersão dos mesmos relativamente a esse valor (calibragem) (Galopim de Carvalho, 2005), bem como a assimetria da curva de distribuição dimensional.

Para analisar as amostras de areia recolhidas no campo, estas foram tratadas no laboratório de Processos Costeiros do Departamento de Geologia da FCUL.

Em primeiro lugar foram lavadas, para eliminar sais solúveis, e colocadas na estufa a 60°C durante cerca de 48 horas para permitir secagem completa. Em seguida efetuou-se o quarteamento de modo a obter uma toma representativa, necessária para o ensaio granulométrico (cerca de 100 g).

Após pesagem da areia quarteada (peso inicial) o sedimento foi colocado no topo de uma coluna de crivos com malha de dimensões variáveis entre  $-2 \Phi$  e  $4 \Phi$ , com intervalos de  $0,5 \Phi$ , efetuou-se depois a separação das areias em classes dimensionais, num agitador mecânico usando frequência de cerca de 60 Hz, durante 12 min. As frações de areias retidas em cada crivo foram pesadas, sendo o seu somatório o peso final. O erro associado à diferença entre peso inicial e final foi sempre inferior a 1%.

Os pesos das frações granulométricas retidas em cada classe dimensional foram introduzidos no programa GRADISTAT (Blott & Pye, 2001), onde se obtiveram os parâmetros característicos da distribuição granulométrica, de acordo com o método gráfico de Folk & Ward (1957). A média gráfica ( $Mz\Phi$ ), o desvio padrão gráfico inclusivo ( $\sigma I$ ), a assimetria gráfica inclusiva ( $SKI$ ) e curtose gráfica ( $K\sigma$ ) foram selecionados para a caracterização da distribuição granulométrica. A caracterização qualitativa dos sedimentos seguiu as designações propostas pelos mesmos autores.

## **4.3. Trabalho de gabinete**

### **4.3.1. Evolução morfológica da área de estudo**

No contexto deste trabalho, o estudo geomorfológico consistiu na caracterização da evolução da área de estudo num intervalo de tempo amplo, com base na fotointerpretação de fotografias aéreas estereoscópicas:

- Voo SPLAL (Serviços Portugueses de Levantamentos Aéreos, Lda) de 1942, à escala aproximada de 1:17000;
- Voo da FAP (Força Aérea Portuguesa) de 1980, à escala aproximada de 1:15000;
- Fotografias aéreas digitais da empresa *Município*, de 2011, com *píxel* de 0,3 m;
- Fotografias aéreas digitais da empresa *Município* de 2018, à escala aproximada 1:25000, com *píxel* de 0,3 m.

Para o estudo geomorfológico da área de estudo foram observados, identificados e cartografados elementos característicos do sistema praia-duna: praia, duna(s) (limitadas pelas linhas de base da face barlavento e sotavento do edifício eólico, cristas, depressões interdunares), corredores de deflação (*blowouts*), entre outros.

Para além destes elementos consideraram-se também outros, de natureza antrópica (bares/restaurantes, casas, estradas, caminhos, passadiços...); uns e outros foram cartografados com base nas observações em estereoscopia dos pares das fotografias aéreas, com o auxílio do equipamento disponível no Laboratório de Instabilidade de Vertentes do Departamento de Geologia da Universidade de Lisboa.

Com base nas fotografias aéreas mais recentes foi produzido um mapa geomorfológico da área de estudo e, por retroanálise produziu-se a restante cartografia em imagens mais antigas, para ilustrar e fundamentar a evolução da ocupação e organização do espaço costeiro bem como da evolução do estado de conservação do cordão dunar.

As fotografias aéreas estereoscópicas digitalizadas foram observadas num ecrã, sobre o qual foi colocada uma folha de acetato onde se delimitaram os elementos cartografados.

Para além de corresponderem a momentos diferentes e representarem a superfície a escalas diferentes, as fotografias aéreas contêm distorções (de relevo, radial, relacionadas com a inclinação do eixo ótico da câmara, bem como de variação da altitude do voo (Moore, 2000)), pelo que necessitam de ser corrigidas. Na ausência de correção, as medições no desenho efetuadas sobre as imagens tal-qual não serão fiáveis.

Para este efeito foram identificados e selecionados elementos planimétricos de referência, comuns a todas as fotografias e ao referencial cartográfico adotado: o ortofotomapa de 2008 da DGT, uma vez que constitui o documento com melhor garantia de fiabilidade posicional. Teve-se em consideração o número de pontos de referência e a sua distribuição espacial, embora o facto de a zona estudada ser costeira impossibilite a identificação de pontos de referência a oeste da linha de costa.

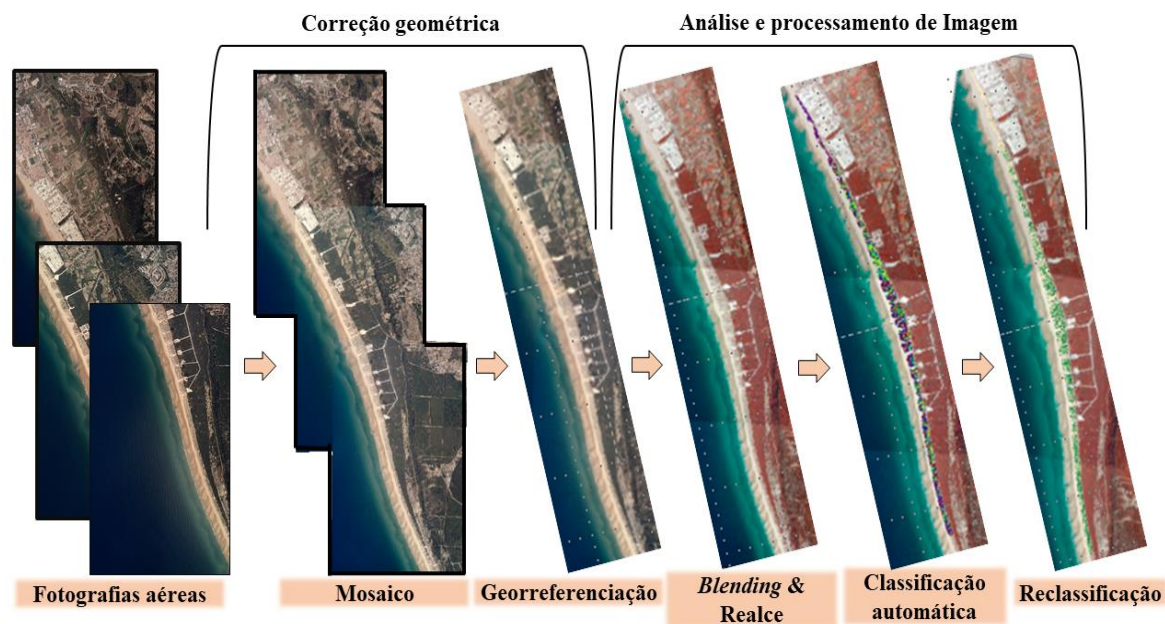
A georreferenciação corresponde à operação que transforma as coordenadas da imagem em coordenadas do terreno (Hill, 2006). No contexto deste estudo, este processo foi efetuado com recurso ao *software* ArcGis®, usando o algoritmo *Spline*<sup>3</sup>, e incidiu sobre as imagens e também sobre os elementos previamente desenhados sobre elas. Finalmente, os elementos cartografados foram transformados em polígonos (em formato vetorial), gerando um esboço geomorfológico referente a cada ano em ambiente ArcMap®.

---

<sup>3</sup> A transformação polinomial designada por *spline* procura otimizar/ajustar a precisão de um local das coordenadas do mapa para cada célula. Para tal, é necessário marcar no mínimo 10 pontos de controlo de origem, para que estes sejam transformados exatamente em pontos de controlo de destino, aumentando a precisão geral desta transformação (ArcGis for Desktop, 2019).

### 4.3.2. Avaliação do estado de conservação do cordão dunar frontal

A avaliação do estado de conservação do cordão dunar frontal está intimamente ligada ao estado da vegetação que ocupa o solo. No caso em estudo a avaliação da densidade de coberto vegetal fundamentou-se no processamento e análise de imagem incluindo um exercício de classificação automática, com o intuito de quantificar a área ocupada pela vegetação, numa dada região, em diferentes imagens, no intervalo entre 2008 e 2018 (Figura 4.2). A par destes procedimentos, a identificação das principais espécies colonizadoras no cordão dunar frontal (efetuada no terreno) contribuiu para um melhor entendimento da vulnerabilidade dos sistemas dunares.



**Figura 4.2** - Fluxograma da metodologia aplicada para a avaliação da vegetação no cordão dunar frontal.

Em primeiro lugar, foi criado um mosaico, unindo as três fotografias aéreas que abrangem a área de estudo. Este mosaico foi georreferenciado e retificado tendo por base o ortofotomapa de 2008. A este foi imposto um processamento de *blending*, com o intuito de homogeneizar as variações de cor e tom que cada fotografia aérea apresentava.

O ortofotomapa de 2008 disponibilizado pela DGT apresenta uma resolução espacial de 0,1 m e resolução radiométrica de 8 bit. As fotografias de 2018 disponibilizadas pela empresa *Município*, referenciadas no sistema de coordenadas ETRS89/PTTM06, apresentam resolução espacial algo inferior (*pixel* com cerca de 0,305 m de lado) e resolução radiométrica de 16 bit.

A informação contida no ortofotomapa e nas fotografias aéreas distribui-se por 4 bandas: Red (R-1), Green (G-2), Blue (B-3), Infra-Red (4), sendo usualmente observadas pela ordem RGB (123).

Utilizou-se a ferramenta *Image Analysis* do *software* ArcMap® para realce da vegetação, partindo das quatro bandas (visíveis e infravermelho próximo). Para tal, a banda Red foi substituída pela do Infravermelho, estipulando a ordem 4 2 3 (InfraV, Green, Blue), com auxílio da função – *Band Arithmetic Function*. A banda Red permite discriminar diferentes tipos de vegetação com maior rigor que as três cores da Figura 4.3.



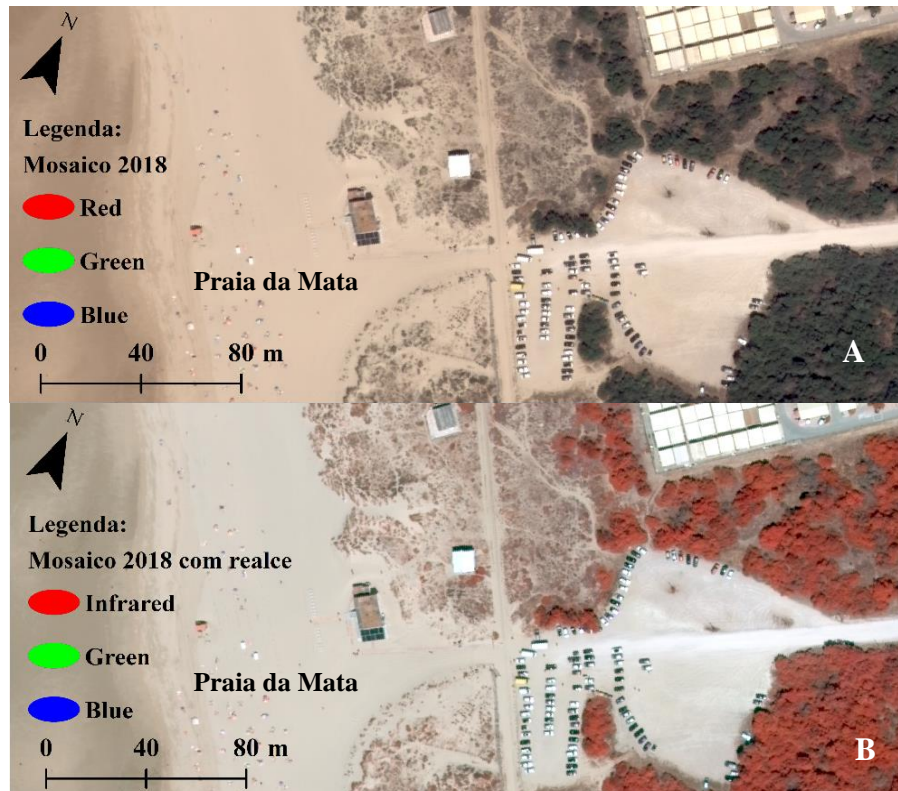


Figura 4.3 - Mosaico elaborado com as fotografias aéreas de 2018 (Município, S.A.).

Para classificar a vegetação foram criadas de forma automática 10 classes através do classificador não assistido: *Iso cluster unsupervised classification*. O *software* classifica cada *píxel* de acordo com a cor numa escala de 1 a 10. Após análise criteriosa de cada classe, estas foram reclassificadas e reagrupadas em três categorias fundamentais, representando elementos da superfície ocupados por coberto vegetal rasteiro (herbáceo), arbustivo, e em oposição, superfície desprovida de vegetação (Figura 4.4).



Figura 4.4 - Classificação do cordão dunar frontal sobre o mosaico de 2018 com o realce da vegetação na duna da praia da Mata.

Uma vez concluído o mapeamento, o comprimento total de cerca de 6,3 km em estudo foi dividido, através da criação de um pente de perfis transversais ao alongamento da linha de costa, equidistantes de 100 m. Esta divisão foi efetuada com o intuito de definir com maior rigor os locais mais degradados comparando os resultados de 2008 e 2018, como também os locais com maior potencial de recuperação dunar. A área analisada incluiu o cordão dunar frontal, desde a base da duna até à linha de comboio (*Transpraia*), excluindo os equipamentos e apoios de praia, bem como alguns passadiços já instalados sobre as dunas.

De seguida, foi aplicada a classificação de Short & Hesp (1992) a cada segmento de superfície com largura de 100 m e centrado em cada um dos perfis, para efeitos de hierarquização do estado de conservação da duna. A percentagem de vegetação num dado segmento foi determinada consoante o número de pixéis classificados como tal.

#### **4.3.3. Evolução morfológica da duna da praia da Mata**

Os dados topográficos levantados em campo foram processados e analisados com auxílio dos *softwares* ArcGis® versão 10.6.1 e Microsoft Excel 2018 de modo a construir um modelo digital de terreno (MDT) representativo da situação atual (2019).

Os 9155 pontos levantados no campo foram utilizados para gerar uma TIN (*Triangulated Irregular Network*) e posterior transformação em MDT, utilizando *Natural Neighbors* como critério de interpolação. O domínio representado pelo MDT, com resolução espacial de 1 m, foi limitado por um polígono que se estende alguns metros para além da linha que representa o sopé barlavento e sotavento do edifício dunar e termina nos extremos, onde este edifício é interrompido naturalmente (a sul) ou pela presença de um acesso à praia (a norte).

A evolução morfológica da duna da praia da Mata fundamentou-se na comparação entre o MDT de 2019 e outros MDT disponíveis, referentes a 2014 (modelo com resolução de 1 m, fornecido pela DGT, baseado em levantamentos aerofotogramétricos), 2011 (resolução de 1 m, cedido pela DGT e baseado em levantamento LiDAR) e 2008 (resolução de 1 m, cedido pela DGT, baseado em levantamento aerofotogramétrico).

Para a construção de mapas de diferenças de elevação foi aplicada a ferramenta *Raster Calculator* que permitiu subtrair os MDT (antigo – recente), dois a dois. Dado que existe sempre alguma incerteza associada aos levantamentos e à interpolação, optou-se por considerar como não significativas as diferenças altimétricas contidas no intervalo  $\pm 0,10$  m. A determinação dos volumes de erosão e acreção foi realizada através da ferramenta *Cut & Fill*, a partir dos quais se determinou o balanço sedimentar.

A retenção volumétrica total na duna foi calculada com a ferramenta *Surface Volume* e definida pelo volume compreendido entre a superfície do MDT e um plano horizontal de referência à cota 3 m (NNM) limitado pelo polígono da área em estudo.

#### **4.3.4. Variabilidade sazonal e tendência evolutiva das praias**

A sazonalidade e a tendência evolutiva de uma praia têm por base o estudo e análise da variação morfológica ao longo do tempo, uma vez que a sazonalidade de um perfil está intimamente relacionada com a resposta da morfologia ao forçamento oceanográfico, que por sua vez, varia com as condições do ano e também de ano para ano.

Este tipo de caracterização teve como objetivo principal avaliar a ligação da morfodinâmica do litoral com a degradação das dunas, isto é, com a possibilidade de desenvolvimento e crescimento de dunas embrionárias que possam evoluir posteriormente para dunas mais robustas e estabilizadas.

Para tal, foram sintetizados os dados correspondentes aos perfis levantados na praia de São João da Caparica (PCC6), da Saúde, da Rainha e da Bela Vista nas campanhas de verão e inverno desde 2007, 2011 e 2015, respetivamente, até 2019 no âmbito do projeto CISML e de outros projetos de monitorização acordados entre o Departamento de Geologia da FCUL e o Município de Almada.

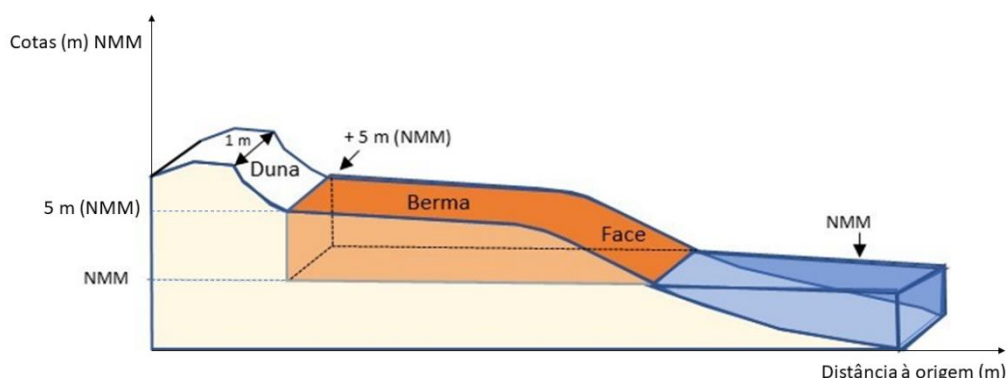
Estas praias foram elegidas por apresentarem uma série relativamente longa de perfis completos desde a duna até ao NMM. Os perfis da praia de São João da Caparica (que refletem para além da variabilidade de escala temporal pequena, uma tendência persistente de perda de areia) serviram como termo de comparação para a avaliação da tendência evolutiva nas restantes praias, em especial a praia da Rainha.

Todos os perfis têm origem (distância horizontal = 0 m) na cabeça de perfil, de acordo com as coordenadas apresentadas na Tabela 4.2.

**Tabela 4.2** - Coordenadas planimétricas (Easting, Northing) em unidades métricas da cabeça do perfil da praia da Saúde, Rainha e da Bela Vista.

Cabeça do perfil	Easting	Northing
Praia da Saúde	-95294,15	-114684,15
Praia da Rainha	-94392,68	-116207,51
Praia da Bela Vista	-93545,15	-118372,20

Em paralelo com a avaliação qualitativa da variabilidade morfológica de escala temporal mais curta, foi calculado o volume de areia retido na praia por unidade de comprimento de costa (expresso em  $\text{m}^3/\text{m}$ ) em cada um dos levantamentos. A variação deste volume ao longo do tempo produz informação quantitativa sobre a variabilidade de escala temporal curta e também permite inferir da existência de um padrão de perda (ou ganho) de sedimentos, persistente no tempo, que configure uma tendência de evolução (erosão, progradação) de escala temporal mais alargada. Os volumes determinados neste trabalho resultam da aplicação da “regra dos trapézios” a cada perfil, entre a cota do nível médio do mar e a cota +5 m (NMM), valor da cota aproximada do encosto da praia à duna (Figura 4.5).



**Figura 4.5** - Representação esquemática do perfil de uma praia e do prisma correspondente para o cálculo do volume das praias.

## 5. Resultados e discussão

### 5.1. Sedimentos

Neste ponto apresentam-se e discutem-se os resultados da caracterização granulométrica de areias de praia (face e berma) e duna colhidas entre abril e junho de 2019, nas praias da Saúde, Rainha, Mata e Bela Vista (Anexo 3.) analisadas no âmbito deste estudo, bem como resultados anteriores, obtidos no âmbito de programas de monitorização efetuados pelo Departamento de Geologia da FCUL em colaboração com a APA. Estes resultados são ainda comparados e interpretados com outros, mais antigos, reportados na bibliografia para a mesma região.

No que respeita aos sedimentos estudados no âmbito do presente trabalho, observa-se que todas as areias são limpas, com teores nulos ou vestigiais de finos (partículas  $< 63 \mu\text{m}$ ) e de matéria orgânica.

As areias da face de praia são médias (90% das amostras estudadas) a finas, com diâmetro variável no intervalo de  $1,4 \Phi$  a  $2,1 \Phi$  e valor médio de  $1,8 \Phi$ . O valor de  $1,4 \Phi$  é referente à praia da Saúde, em 2014, após o período de tempestades, pelo que se trata de um sedimento mais grosseiro. Os sedimentos de face de praia apresentam-se bem calibrados (à exceção de dois casos classificáveis como moderadamente bem calibradas) com valor médio de desvio padrão de  $0,4 \Phi$ . A curva de distribuição varia entre simétrica a assimétrica positiva (com predominância das frações mais finas) em quatro amostras.

Os sedimentos de berma são constituídos por areia média a fina, com diâmetro médio de  $1,8 \Phi$ . O desvio padrão é variável entre  $0,4 \Phi$  e  $0,5 \Phi$ , ou seja, trata-se de areias bem calibradas. A curva de distribuição é essencialmente simétrica significando que os sedimentos são bastante evoluídos.

As areias de duna são finas, com média dos diâmetros de  $2,1 \Phi$ . O sedimento é muito bem calibrado a bem calibrado, com valor médio de desvio padrão de  $0,4 \Phi$ . As curvas de distribuição são essencialmente simétricas a muito ligeiramente negativas.

De um modo geral, as areias são texturalmente semelhantes, de grão médio a fino e essencialmente bem calibradas, com distribuição preferencialmente simétrica. Os diagramas presentes no Anexo 3, mostram que o diâmetro médio é a única estatística capaz de diferenciar areias de praia das de duna, independentemente da localização geográfica da praia. A média dos diâmetros médios também pode sugerir que os sedimentos da face de praia apresentam um tamanho semelhante aos sedimentos da berma, porém de um modo geral, as areias de berma serão algo mais finas que as de face de praia, porém esta conclusão deva ser cautelosa devido ao número reduzido de amostras analisadas. No que respeita aos indicadores de calibragem e de simetria os pontos figurativos das areias de berma e de face de praia ocupam campos idênticos, embora se observe que a dispersão da nuvem de pontos correspondente à berma seja, regra geral, mais pequena.

Diversos autores analisaram os sedimentos de praia e duna ao longo do arco Caparica-Espichel do ponto de vista textural, nomeadamente Freire (1989), Teixeira (1990) e Diogo *et al.* (2013). Teixeira (1990) caracteriza as areias de duna como finas, bem calibradas a muito bem calibradas e Freire (1989) descreve as areias de praia como de dimensão média a fina, bem calibradas e cuja distribuição granulométrica tem assimetria nula. Os resultados obtidos por estes autores encontram-se resumidos na Tabela 5.1, juntamente com os resultados deste trabalho.

Em termos globais, pode afirmar-se que os dados obtidos são idênticos aos reportados na literatura desde 1989, sugerindo que a textura das areias de praia e duna nesta região se manteve invariante nos últimos 30 anos.



**Tabela 5.1 - Síntese de resultados da granulometria dos sedimentos de praia e duna.**

<b>Autor</b>	<b>Domínio</b>	<b>Diâmetro médio</b>	<b>Calibragem</b>	<b>Assimetria</b>
<b>Freire (1989)</b>	Praia	Areia média a fina (Mz $\phi$ : 1.6 a 2.1 $\phi$ )	Muito bem calibradas a moderadamente bem calibradas ( $\sigma$ I: 0.26 a 0.60 $\phi$ )	Simétrica a assimétrica negativa (SKI: 0.1 a -0.2)
	Duna	Areia fina (Mz $\phi$ : 1.8 a 2.1 $\phi$ )	Bem calibradas ( $\sigma$ I: 0.40 a 0.44 $\phi$ )	Simétrica a assimétrica negativa (SKI: 0.1 a -0.1)
<b>Teixeira (1990)</b>	Praia	Areia fina (Mz $\phi$ : 1.99 a 2.31 $\phi$ )	Muito bem calibradas a moderadamente bem calibradas ( $\sigma$ I: 0.25 a 0.55 $\phi$ )	Assimétrica negativa
<b>Diogo et al. (2013)</b>	Praia	Areia média a fina (Mz $\phi$ : 1.75 a 1.80 $\phi$ )	-----	-----
	Duna	Areia fina (Mz $\phi$ : 1.80 a 2.0 $\phi$ )	-----	-----
<b>Este trabalho</b>	Praia	Areia média a fina (Mz $\phi$ : 1,35 a 2,11 $\phi$ )	Bem calibradas a moderadamente calibradas ( $\sigma$ I: 0.37 a 0.53 $\phi$ )	Simétrica a assimétrica positiva. (SKI: 2.2 a -0.1)
	Duna	Areia fina (Mz $\phi$ : 2,04 a 2,23 $\phi$ )	Bem calibradas a muito bem calibrada ( $\sigma$ I: 0.35 a 0.44 $\phi$ )	Simétrica a assimétrica negativa (SKI: -0.1 a 0)

## 5.2.Evolução morfológica da área de estudo

A evolução morfológica da área de estudo foi efetuada com base em observações de fotografias aéreas estereoscópicas, o que permitiu a concretização de esboços morfológicos para as imagens (situações) de 1942, 1980, 2011 e 2018 (Anexo 4.). Em cada um dos esboços procurou-se representar o maior número de elementos geomorfológicos e de ocupação do solo, com o intuito de caracterizar e compreender a geomorfologia da região e assim contribuir para uma análise da evolução do litoral entre a Nova Praia e o limite norte da povoação da Fonte da Telha.

Os elementos morfológicos e de ocupação considerados para a execução dos esboços consistiram principalmente em:

- a) Elementos geomorfológicos:
  - a. Linha de costa: linha de fronteira entre a areia molhada e seca, na praia (Moore, 2000);
  - b. Elementos associados ao sistema praia-duna:
    - i. Praia: domínio emerso da praia, entre a linha de costa e a base da duna;
    - ii. Dunas embrionárias: localizadas entre a alta praia (berma) e a base da duna primária, tipicamente colonizadas por vegetação pioneira e sem cristas definidas;
    - iii. Dunas primárias e secundárias (compreendendo base, crista e depressões interdunares): a base representa a fronteira entre a duna primária e a alta praia; a crista corresponde ao alinhamento de pontos com maiores cotas (geralmente

no topo) das dunas primárias; a depressão interdunar foi marcada como uma linha que representa a "linha de água" na depressão entre dunas ou corpos dunares adjacentes;

- c. Corredores de deflação/*blowouts*: são observados como zonas não vegetadas ou com vegetação pioneira, com cotas inferiores às da restante duna que cortam ou perturbam;

b) Elementos de ocupação do solo:

- a. antrópicos: parques de estacionamento, parques de campismo, bares e outros equipamentos de praia, palheiros e casas de férias, estradas e caminho-de-ferro;
- b. Acacial e campos agrícolas: o acacial representa uma vasta área onde se observa vegetação arbórea e, que geralmente, rodeia os campos agrícolas.

Apesar da observação estereoscópica ter sido efetuada com base em retroanálise, seguidamente serão descritos os mapas do mais antigo para o mais recente.

### 5.2.1. Imagem de 1942

O mapa de 1942 (Anexo 4.) representa a zona costeira em estado mais próximo do natural, com um campo de dunas extenso e largo ocupando uma área total de aproximadamente 2,9 km<sup>2</sup>. A sua largura, medida perpendicularmente à linha de costa, variava entre 600 e 300 m, com valor médio na ordem dos 460 m. A praia adjacente ao campo dunar apresentava uma largura também variável e decrescente para sul, tendo a norte cerca de 170 m a 140 m e para sul cerca de 60 m.

A norte, os diversos palheiros e edifícios existentes, que serviram de apoio à comunidade piscatória local, afetaram a morfologia do cordão dunar, diminuindo significativamente a sua altura. Também no interior da planície costeira e sobre o campo de dunas encontravam-se já campos agrícolas.

O cordão dunar frontal, visível na região norte, apresentava uma largura variável, com valor médio de 130 m e a vegetação era praticamente nula. Paralelo à linha de costa, exibia diversas cristas tendencialmente contínuas, com um alinhamento NNW-SSE.

Para sul da região com maior influência antrópica (ou seja, na região da praia da Mata e mais para sul até um pouco a norte da Fonte da Telha), o cordão dunar frontal (bem como as cristas que lhe definem o alinhamento) deixa de ser evidente, passando a existir uma região de transição mal definida entre a praia e as dunas interiores. Nesta região forma-se assim um relevo arenoso ainda paralelo à praia, que configura um corpo dunar transgressivo (que trunca a oeste), alinhado paralelamente entre si, subperpendicular à linha de costa com orientações gerais E-W e ESE-WNW. As dunas longitudinais observam-se melhor na região da praia da Rainha e na região mais afastada do mar observa-se também, em alguns casos, o encurvamento das cristas para norte.

A fraca ocupação por coberto vegetal e a abundância de areia, permitiram que os corpos eólicos progredissem no sentido de terra, sob a forma de dunas parabólicas (cujos braços correspondem às cristas longitudinais) sendo a região de encurvamento interpretada como remanescente do "nariz" das parábolas. Localmente, observa-se também a transição para dunas transgressivas, cujo desenvolvimento foi possível dada a abundância de sedimento e a largura do campo dunar, que neste local apresentava os seus valores máximos, na ordem dos 430 m. Por este motivo, as areias móveis pareciam invadir as dunas mais interiores e os campos agrícolas.

Nesta região era também visível um alinhamento de cercas, possivelmente relacionadas com o início da plantação do acacial. No interior, para terra do campo de dunas parabólicas/transgressivas, observava-se um corpo dunar alongado, que serviria de barreira à invasão dos campos agrícolas (instalados sobre

as areias de duna). Mais para o interior e para sul, a vegetação torna-se mais densa, ocupando uma grande parte do corpo dunar, possivelmente devido à fraca ação antrópica.

Na região mais a sul, mais próxima da Fonte da Telha, observaram-se alinhamentos bem definidos de cristas arenosas separadas por interdunares, paralelos ao alongamento da costa e com uma envergadura significativa. Estes corpos alinhados eram talhados por alguns *blowouts*, que tendencialmente evoluíam para dunas parabólicas até à base da arriba fóssil.

O panorama do litoral em 1942 apresentava, de modo simplificado, quatro tipos de formas principais (Figura 5.1): dunas longitudinais, *blowouts* ou depressões eólicas, dunas parabólicas e dunas transgressivas.

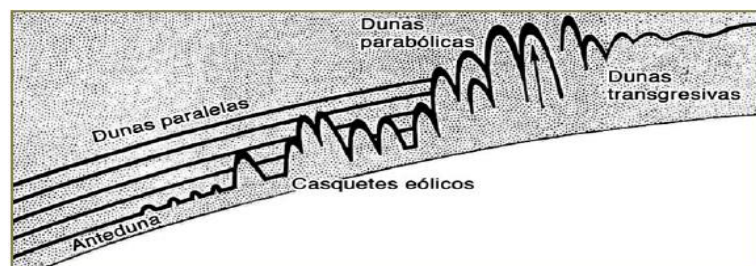


Figura 5.1 - Tipos de dunas costeiras. (Bird, 1990 in Seoane et al., 2007).

### 5.2.2. Imagem de 1980

Em 1980, a configuração do espaço dunar foi completamente alterada, tal como se pode observar no Anexo 4. O campo dunar ativo ocupava cerca de 0,68 km<sup>2</sup>, o que corresponde a uma perda de praticamente 76% da área ocupada em 1942. Desta diminuição, cerca de 58%, deveu-se à plantação do acacial entre os anos 50 e 60, efetuada para fixar as areias que invadiam os campos agrícolas (Freire, 1989; Pais, 1992). Também a implantação de parques de campismo na região norte, contribuiu para a redução da área do espaço dunar em cerca de 11%.

As restantes áreas dunares perdidas entre 1942 e 1980, resultaram da construção de diversas casas associadas aos campos agrícolas, os apoios e equipamentos de praia, tal como os parques de estacionamento de apoio aos veraneantes.

O campo de dunas interior foi substituído por um extenso acacial, perturbando o cordão dunar frontal. Também o caminho-de-ferro, instalado entre a duna frontal e o campo de dunas interiores, construído em 1960 (Transpraia.pt, 2018), passou a dificultar a mobilização de areias para o interior.

A ocupação do cordão dunar primário prejudicou significativamente a continuidade lateral das dunas e o seu desenvolvimento para o interior, como observado em 1942. Assim, o campo dunar ativo apresentava uma largura média de 100 m, a norte e 75 m, a sul, uma vez que ficou compreendido entre a praia e o parque de campismo, a norte, e o acacial, a sul. Tal como a largura das dunas, também a praia apresentava uma diminuição para sul, sendo a sua largura média de 66 m.

De um modo geral, as dunas observáveis nesta imagem eram transversais, com cristas desenvolvidas paralelamente à linha de costa e orientação geral NW-SE. A sua continuidade era afetada pelas construções instaladas sobre cordão dunar frontal, tal como abordado anteriormente. A face barlavento apresentava-se mais íngreme e menos vegetada, quando comparada com a face sotavento.

No interior da região em estudo, são ainda perceptíveis formas de relevo dunar sob o coberto denso de acácias. Estas formas, de orientação E-W e ESE-WNW refletem as dunas longitudinais presentes em 1942, cuja morfologia foi conservadas apesar da intervenção de florestação.

Em relação ao desenvolvimento da vegetação, apesar de ser bastante superior ao observado em 1942, mostra-se muito condicionado pelo pisoteio constante e abertura de trilhos pedestres desordenado e em número muito elevado. Os locais desprovidos de vegetação favoreceram o desenvolvimento de *blowouts* que, por sua vez, contribuíram para a diminuição do estado de conservação da morfologia dos corpos dunares.

O número de corredores de deflação era significativo, assim como a sua dimensão, principalmente no sul da área em estudo. Apresentavam uma convexidade dominante para E e NE, associada à prevalência dos ventos de W e SW.

### 5.2.3. Imagem de 2011

As observações das fotografias aéreas de 2011 resultaram no mapa morfológico presente no Anexo 4, onde se pode constatar a contínua ocupação antrópica sobre o cordão dunar frontal. Apesar da configuração do litoral ser semelhante, na região norte o número de edifícios diminuiu sobre a duna frontal, quando comparado com 1980. Para sul, ao longo de todo o troço, os equipamentos de praia aumentaram em número, assim como a densidade de trilhos de acesso à praia, que continuam desordenados.

Os terrenos agrícolas diminuíram em área, sendo substituídos, em parte, por parques de estacionamento que ocupavam uma área de 0,12 km<sup>2</sup>. Muitos destes parques estenderam-se até afetar parte do tardoz do cordão dunar frontal, que foi desaterrado e nivelado. Os parques de campismo aumentaram em área, apesar de este aumento ser pouco significativo quando comparado com o que se verificou entre 1942 e 1980.

Assim, a área pertencente ao campo dunar em 2011, limitada pelo acacial, a este, e pela praia, a oeste, era agora de 0,57 km<sup>2</sup>, cerca de 16% inferior à de 1980. Em relação à largura do campo dunar ativo, os seus extremos apresentavam cerca de 70 m de largura, com valores máximos na ordem dos 170 m, entre a praia da Cabana do Pescador e da Morena. A praia apresentava em média cerca de 60 m de largura, praticamente ao longo de todo o troço costeiro em estudo.

Toda esta pressão antrópica na região próxima do principal centro urbano (a Costa da Caparica, a norte), com o pisoteio constante, inibiu o crescimento de vegetação, originando uma morfologia dispersa, com cristas pouco definidas e descontínuas. As dunas atingiam alturas relativamente baixas quando comparadas com a região sul, onde apresentavam uma envergadura superior. Os *blowouts* eram essencialmente criados devido à presença dos edifícios no topo do cordão dunar.

Para sul, a continuidade lateral das dunas aumenta, sendo essencialmente interrompidas pelos principais acessos aos parques de estacionamento e à praia, bem como aos equipamentos e apoios de praia. Para sul da praia da Bela Vista, o alinhamento e continuidade da duna transversal (frontal) era mais evidente, sendo este corpo talhado apenas por pequenos *blowouts*. Neste troço, entre a praia da Bela Vista e o limite norte da Fonte da Telha, foram observados alinhamentos de retenções na duna primária.

Para sul da praia do Castelo foram observadas, paralelamente ao cordão dunar frontal, duas zonas depressionárias separadas por montículos de areia dispersos e pouco definidos (cf. anexo 4., p. 102). Alguns destes montículos apresentavam cristas, com alinhamento semelhante à duna transversal frontal.

De um modo geral, os interdunares revelavam-se mais largos e planos, com expressão praticamente até ao limite oeste do acacial.

Para o interior, ao longo do troço analisado, observam-se vestígios de alinhamentos dunares segundo NNW-SSE que compunham o campo dunar ativo em 1942, sendo mais significativos a sul da praia da Rainha.

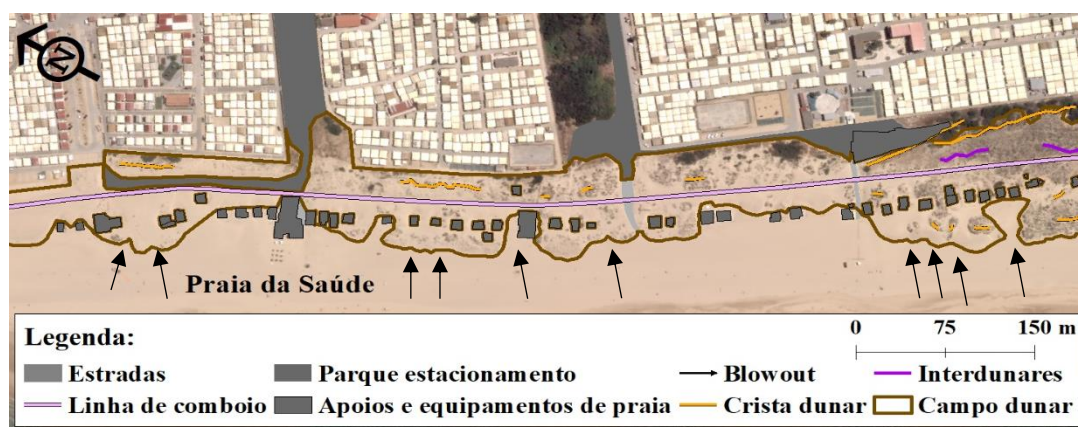
#### 5.2.4. Imagem de 2018

As observações que se efetuaram sobre as fotografias áreas de 2018 representam praticamente a situação atual do espaço costeiro (Anexo 4.).

A configuração geral tem-se mantido deste 1980, existindo poucas diferenças no que diz respeito à área dunar perdida. O campo dunar de 2018 apresenta uma área de 0,57 km<sup>2</sup>, semelhante à de 2011 e a sua largura é condicionada pela existência de obstáculos já presentes em 2011, tais como o acacial e os edifícios (parques de campismo, parques de estacionamento e apoios de praia), que não permitem o desenvolvimento do campo dunar no sentido de terra. Nos extremos do troço analisado as dunas apresentam uma largura média na ordem de 60-70 m, com máximos na ordem de 130 m, entre as praias da Cabana do Pescador e da Morena. O mesmo não acontece com as praias, cuja largura diminui para sul (média de 60 m).

O cordão dunar frontal, muito degradado pela ação antrópica e secundariamente pela ação do mar apresenta-se alinhado com a praia e é muito descontínuo, mantendo apenas algumas cristas curtas embora mal definidas.

A região norte revela dunas descontínuas e dispersas, formando montículos de areia sem cristas definidas e com pouca vegetação. Para sul, as dunas manifestam alguma continuidade lateral, sendo interrompidas pelas construções e acessos à praia. É de notar o exíguo espaço entre o cordão dunar frontal e o muro dos parques, a ocupação desde cordão por construções e os efeitos do pisoteamento sobre a morfologia e a vegetação (Figura 5.2).



**Figura 5.2** - Parques de campismo contíguos, na região sul da Costa da Caparica, ilustrando a ocupação de antigo território dunar, com obliteração total da morfologia original, nomeadamente do cordão dunar frontal.

Para sul da praia da Bela Vista e até ao limite da área de estudo, as dunas apresentam-se com continuidade lateral e com cristas mais bem definidas. De um modo geral as dunas estão mais preservadas, com maior coberto vegetal e livres de construções. Entre a praia do Castelo e praia da Bela Vista, devido à largura do campo dunar, observam-se duas zonas interdunares, separadas por montículos de areias com poucas cristas bem definidas.

Em relação aos corredores eólicos (*blowouts*), estes têm origem no pisoteio constante e em alguns casos (e.g. praia da Mata) na remoção de antigos equipamentos de praia. Ao longo da frente dunar em estudo, existem inúmeros *blowouts* de pequena a moderada dimensão, cuja convexidade predominante aponta para E e NE.

Para o interior, observa-se o que se pode considerar um campo dunar “antigo”, estabilizado pela vegetação, com formas alongadas cobertas pelo acacial e o parque de campismo que sugerem manutenção de antigas cristas segundo a direção NNW-SSE paralelas entre si e mais significativas para sul da praia da Rainha.

### 5.2.5. Síntese da evolução morfológica

Em síntese, as observações de fotografias aéreas de distintos anos permitiram a construção de quatro mapas morfológicos que refletem a evolução morfológica e antrópica drástica que a região sul da frente urbana da Costa da Caparica sofreu nas últimas décadas (Tabela 5.2). O campo dunar em estudo estende-se por 6,3 km de comprimento, limitado entre a praia Nova Praia e o limite norte da povoação da Fonte da Telha.

*Tabela 5.2 - Síntese da ocupação dos principais elementos morfológicos que levaram à perda de área do campo de dunas ao longo dos anos.*

		1942	1980	2011	2018
Área Dunar útil (km <sup>2</sup> )		2,90	0,68	0,57	0,57
Área do Parque de Campismo (km <sup>2</sup> )		-	0,31	0,32	0,32
Área do Acacial (km <sup>2</sup> )		-	1,68	1,90	1,90
Largura média da praia (m)	Norte	126	59	59	85
	Sul	57	71	59	34
Largura média do campo dunar (m)	Norte	431	93	69	64
	Sul	354	66	70	74

Em 1942, o campo dunar era extenso e abrangia uma área de 2,90 km<sup>2</sup>. As dunas frontais, com carácter transgressivo em numerosos segmentos, desenvolviam-se, através da ação dos ventos dominantes, passando a dunas parabólicas e também transgressivas para o interior. Este transporte de areias invadia os campos agrícolas que se encontravam no interior da planície litoral.

Cerca de 40 anos depois, em 1980, os ecossistemas costeiros sofreram alterações permanentes que levaram à perda de cerca de 4 vezes da área dunar de 1942. Cerca de 80% de área dunar deram lugar a construções legais e clandestinas, a parques de estacionamento e residências, porém, a maior diferença está associada à florestação das dunas (58%) e construção dos parques de campismo (11%).

A evolução evidente deste troço, entre 1942 e 1980, representa a grande artificialização que ocorreu na região da Costa da Caparica entre a década de 60/70, associada à construção da ponte sobre o Tejo.

O campo de dunas limitava-se a esta data a uma faixa estreita, entre a praia e os parques de campismo (a norte) e o início do acacial (a sul), exibindo essencialmente uma duna frontal paralela à linha de costa. Para o interior, uma depressão interdunar separava a duna frontal do limite poente do acacial.

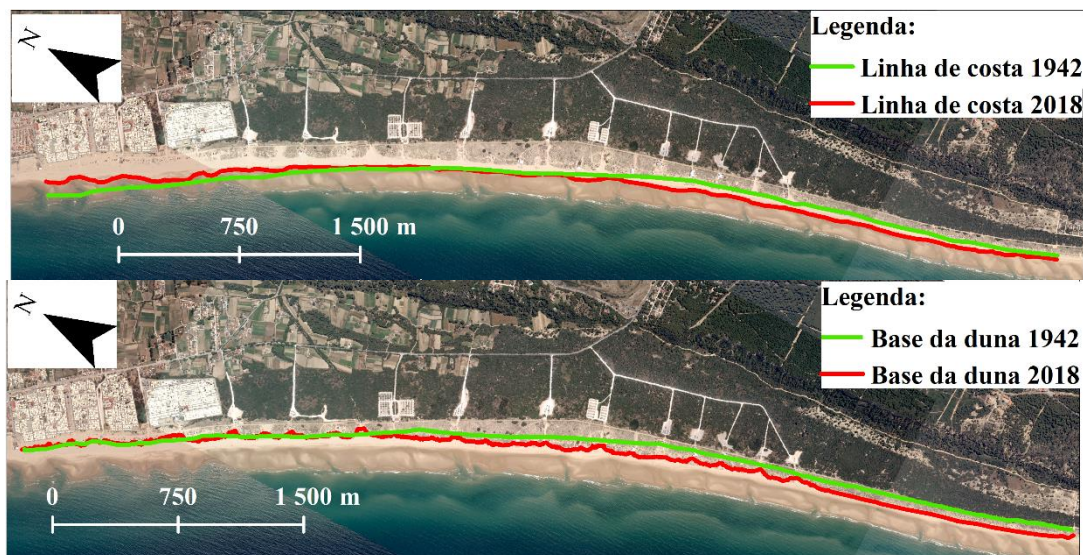
Até 2018, não ocorrem diferenças significativas na configuração do troço costeiro, apesar do aumento da área dunar perdida para a crescente pressão e ocupação antrópica. A expansão de parques de estacionamento, a densidade de trilhos criados nas dunas e a construção de equipamentos de praia, foram as principais causas da destruição do espaço dunar.

Também a linha de costa apresentou alterações na sua posição, sendo que a norte ocorreu um recuo da linha de costa entre a Nova Praia e a praia da Riviera, marcando a erosão que se fez sentir nas últimas décadas (Figura 5.3). Em relação à base da duna, a sua posição manteve-se relativamente estável, apesar de sofrer oscilações pontuais. O mesmo não aconteceu com a sua envergadura, que as observações em estereoscopia sugerem ter diminuído. Para sul da praia da Riviera, a base da duna e a linha de costa progrediram entre 1942 e 2018, exibindo assim este troço costeiro tendência acumulativa.

É de salientar que esta comparação entre os retratos instantâneos de 1942 e 2018, encontram-se separados no tempo 76 anos, pelo que as alterações neste intervalo poderão simbolizar alguma perturbação de escala mais curta (variabilidade sazonal) e não a tendência que se pretende demonstrar.



As diversas construções que se encontram sobre a duna frontal não permitem o seu desenvolvimento, no que diz respeito à sua continuidade lateral, à envergadura da duna e desenvolvimento para terra. No tardoz das mesmas a construção dos parques de campismo, substituíram uma grande parte do ecossistema costeiro, na ordem dos 0,32 km<sup>2</sup> de área.



**Figura 5.3** - Síntese da ocupação dos principais elementos morfológicos que levaram à perda de área do campo de dunas ao longo dos anos.

### 5.3. Avaliação do estado de conservação do cordão dunar frontal

#### 5.3.1. Densidade de vegetação, morfologia e ocupação

Para a avaliação do estado de conservação do cordão dunar foi analisada a área de estudo compreendida entre a base da duna frontal e a linha do comboio *Transpraia*, que se estende entre a Nova Praia e o limite norte da Fonte da Telha.

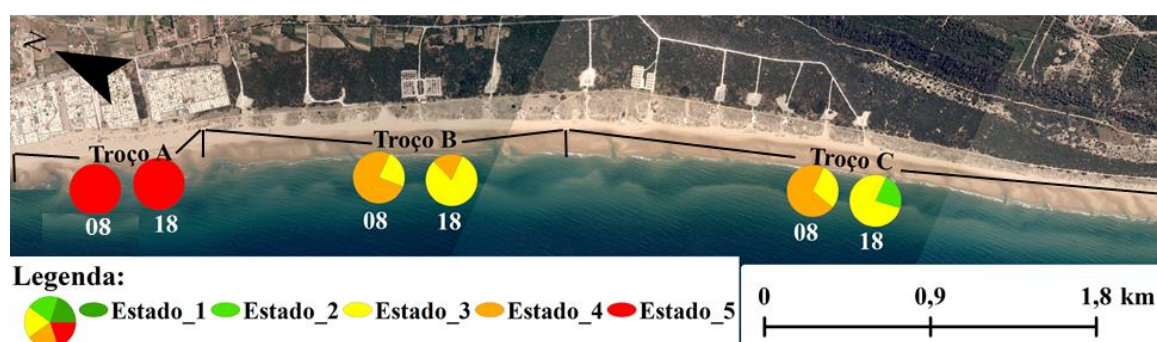
A classificação de “estado 1” (melhor estado de conservação) foi atribuída aos segmentos que apresentam continuidade lateral das cristas e do relevo das dunas, presença de poucos ou nenhuns *blowouts* e cuja vegetação é densa. Em oposição, o pior estado de conservação (estado 5), foi atribuído aos segmentos com menos que 20% da superfície ocupada por vegetação e uma morfologia caracterizada por plataforma arenosa escassamente mais elevada que a berma, onde a alta praia confina essencialmente com estruturas de galgamento ou de deflação (*blowouts*). Estas estruturas bem encaixadas, geralmente atravessam a totalidade do edifício dunar, e ocorrem pontualmente em pequenos edifícios dunares remanescentes, eventualmente vegetados, mas escarpados e com exposição de raízes, muito degradados do ponto de vista morfológico.

A distribuição espacial e frequência de ocorrência dos diferentes estados de conservação na área de estudo conduziram à identificação de três troços principais, caracterizados de acordo com os resultados seguintes.

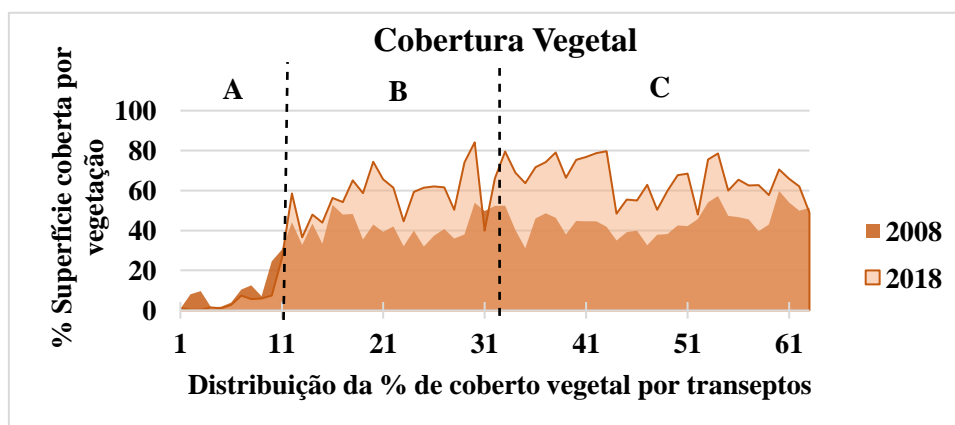
A área ocupada pela duna em análise em 2008 totalizava 0,42 km<sup>2</sup>, enquanto em 2018 era de 0,48 km<sup>2</sup> (um aumento de 15%). Para além da pequena diferença em área ocorreram alterações significativas da vegetação e também do estado de conservação entre 2008 e 2018. A distribuição espacial de áreas vegetadas/não vegetadas e dos diferentes estados de conservação encontra-se sintetizada na Tabela 5.3 e ilustrada nas Figura 5.4 e Figura 5.5.

**Tabela 5.3** - Proporção de superfície ocupada por vegetação em ambos os anos analisados.

		2008				2018			
		Troço A	Troço B	Troço C	Total	Troço A	Troço B	Troço C	Total
Área (m <sup>2</sup> )	Areia nua	20421	93675	129771	243867	32328	70616	82737	185681
	Vegetação	3028	68933	103306	175267	2531	104768	170443	277742
	Total	23449	162608	233077	419134	34859	175384	253180	463423
Média da % superfície	vegetada	10	42	45	38	5	58	66	53
	não vegetada	90	58	55	62	95	42	34	47
Estado de conservação dominante (Hesp, 1988)		5	4	4	4	5	3	3	3



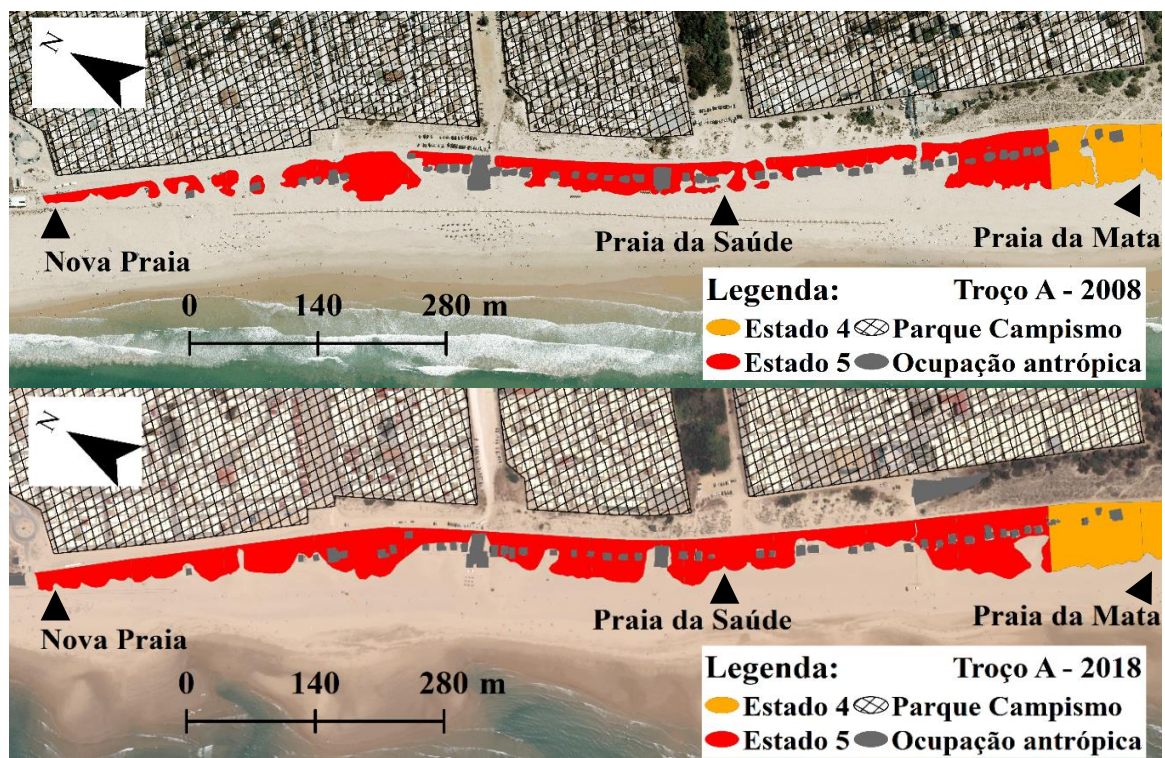
**Figura 5.4** - Diagramas circulares correspondentes à distribuição dos estados de conservação, por troços, nas imagens de 2008 e 2018.



**Figura 5.5** - Representação da distribuição da percentagem de coberto vegetal por transectos ao longo do troço de costa analisado.

O troço A é o que se apresenta menos vegetado e ocupa o quilómetro mais a norte da costa estudada entre a Nova Praia e o norte da Praia da Mata (Figura 5.6). Em 2008, a percentagem de ocupação pela vegetação era, em média, de 10%. Na maioria dos segmentos, a vegetação era praticamente nula, no entanto, quando presente encontrava-se abrigada por algumas residências e bares de praia. Já em 2018 a vegetação cobria em regra cerca de 5% da superfície, sendo na maioria dos transectos menor que 20%.





**Figura 5.6** - Troço A, entre a Nova Praia e o norte da Praia da Mata, classificado com o estado 5 - pior estado de conservação do edifício dunar frontal.

Nas duas imagens as dunas não apresentavam cristas definidas, exceto em locais bem definidos e quando estas ocorriam não tinham continuidade lateral, podendo ser facilmente adoçadas pelo vento. Neste troço a pressão antrópica sempre foi muito elevada devido à proximidade ao centro urbano da Costa da Caparica, para além da ocupação antrópica do cordão dunar, como residências e bares de praia como por exemplo “O Golfinho”, e presença do parque campismo, contribuindo para um aumento significativo do pisoteio (Figura 5.7). Em 2008 é visível o uso das dunas para a colocação de barcos de pesca e o forte pisoteio por parte de veículos (ligados ou não à pesca). Do ponto de vista da conservação, este troço foi definido como correspondente ao grau de máxima degradação (estado 5).



**Figura 5.7** - Duna secundária da praia da Saúde, com destaque para as principais origens de atividade antrópica. Imagem de 6 de Agosto de 2019.

Entre 2008 e 2018 a percentagem de cobertura por vegetação diminuiu ao ritmo médio de  $-0.5\%$  ano<sup>-1</sup>. A diminuição do trânsito automóvel e da ocupação por barcos da superfície dunar não terá sido suficiente para o desenvolvimento da vegetação, favorecendo, no entanto, um pequeno aumento da sua área. Em 2018, os segmentos anteriormente mais afetados pelos veículos (região norte na Figura 5.6) recuperaram em área e melhoraram a continuidade lateral.

O troço B (Figura 5.8), com 2.2 km de comprimento, foi definido entre a Praia da Mata e a Praia da Cabana do Pescador. Em 2008 apresentava em média 41% de ocupação pela vegetação, sendo os valores mínimo e máximo de 20% e 55%, respetivamente. Em 2018, a superfície coberta por vegetação tinha aumentado para 58%, em média, com mínimo de 47 e 75%, respetivamente. A variação da taxa de ocupação da vegetação foi significativa, positiva e de cerca de 1.7% ano<sup>-1</sup>.

Este troço exibía em ambas as imagens melhor conservação das características morfológicas do cordão dunar frontal, quando comparado com o troço A, embora contivesse sinais de degradação numerosos. O número de cristas bem definidas aumenta, apesar de não serem lateralmente contínuas, sendo interrompidas por uma maior frequência de *blowouts* e por diversos equipamentos de praia, que se instalaram sobre corredores eólicos previamente formados ou induziram a sua formação.

O pisoteio e a presença de diversos equipamentos de praia contribuíram fortemente para a degradação da duna. As praias que se incluem neste troço costeiro são as praias do concelho mais visitadas durante a época estival.

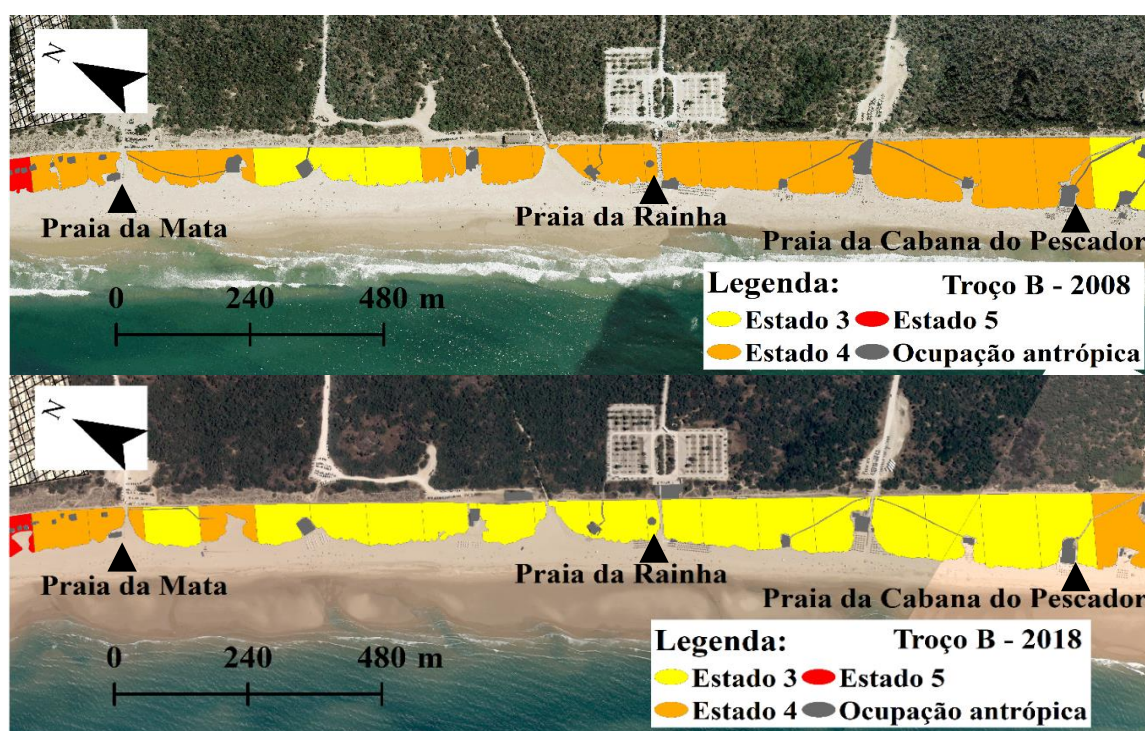


Figura 5.8 - Troço B, entre a Praia da Mata e a Praia da Cabana do Pescador.

O troço C (Figura 5.9), com 3 km de comprimento, é o que apresenta maior proporção de área vegetada, e estende-se entre a Praia da Princesa e o extremo norte da povoação da Fonte da Telha. Representa o troço com melhores características de conservação em 2008 e também em 2018, em termos relativos, embora em termos absolutos se afaste de um nível de conservação desejável, próximo do que seria a situação não perturbada. Em 2008, a percentagem média de superfície coberta por vegetação era de 44% e cerca de 70% do seu comprimento foi classificado no estado 4 de conservação; todos os restantes segmentos foram classificados como estado 3.

Em 2018 a taxa de ocupação da superfície pela vegetação aumentou em cerca de 50% (em média cobria 65% da superfície àquela data, traduzindo uma taxa de aumento de +2.2% ano<sup>-1</sup>), com valor máximo de cerca de 80%. No interior deste troço existem já segmentos classificados como estado 3 e mesmo estado 2 (10%), indicando um potencial de recuperação morfológica significativa e rápida, embora com expressão espacial algo limitada e descontínua.



Para sul da praia da Bela Vista, não há equipamentos de praia nem estradas de acesso à praia, embora existam trilhos pedestres, conhecidos e usados por um número reduzido de utentes. Neste troço, as dunas são interrompidas essencialmente por *blowouts* de origem natural. Esta melhoria (natural) do estado de conservação é interpretada como relacionada com o maior afastamento ao centro urbano da Costa da Caparica, maior dificuldade de acesso e inexistência de equipamentos e de apoios de praia para sul da Bela Vista.

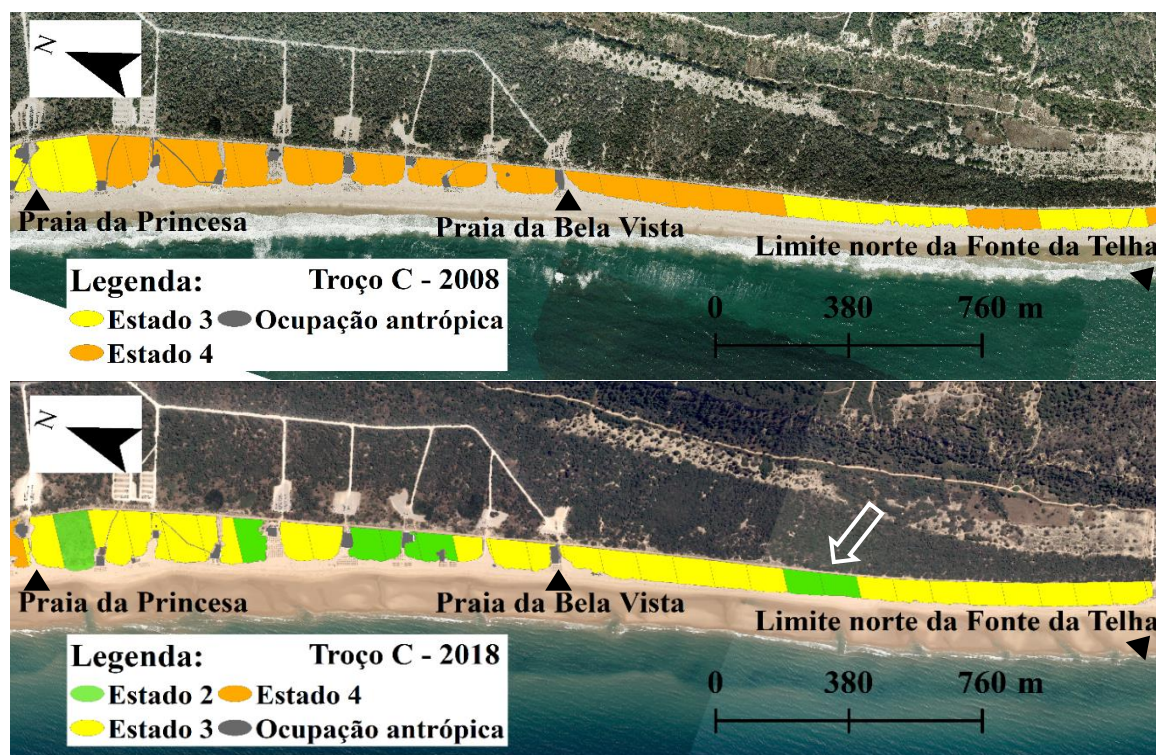


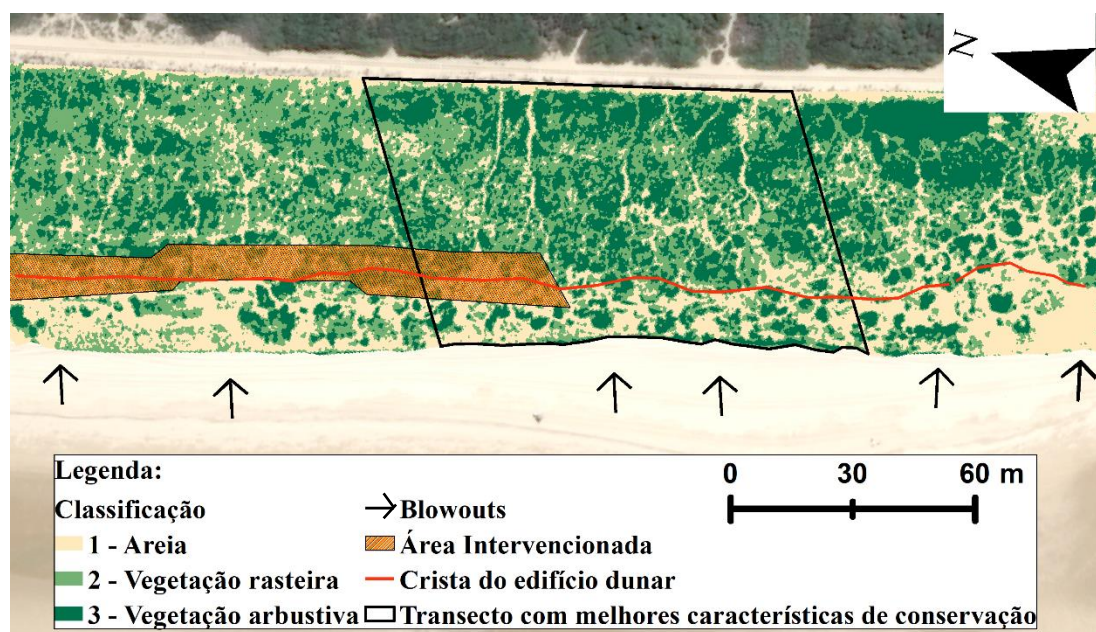
Figura 5.9 - Troço C, entre a Praia da Princesa e o limite norte da Fonte da Telha. Destaque para o transecto com melhores características de conservação (seta a branco).

No interior do troço C, mais concretamente a 100 m a partir da praia da Bela Vista até cerca de 710 m a sul, identificaram-se alguns alinhamentos nas fotografias aéreas que foram interpretados como vestígios de paliçadas de retenção eólica (Figura 5.10). Esta interpretação foi confirmada pela observação e análise de fotografias aéreas e imagens satélite, podendo concluir-se que foram colocadas entre 1995 e 2001, desconhecendo-se a data exata bem como a entidade responsável e o motivo da sua colocação. Têm vindo a mostrar-se eficazes, uma vez que se encontram quase integralmente soterradas.



Figura 5.10 - Localização da zona intervencionada a sul da praia da Bela Vista, com o segmento com melhores características de conservação apresenta (polígono a preto).

O segmento que melhores características de conservação apresenta, encontra-se no limite sul desta zona intervencionada e estende-se por 100 m (Figura 5.11). Apresentava, em 2018, uma percentagem de superfície ocupada por vegetação de 80% e, apesar de este valor ser semelhante ao encontrado noutros locais do mesmo troço, a organização morfológica original apresentava-se aqui bem mais conservada. Os edifícios dunares organizam-se em corpos alongados subparalelamente ao desenvolvimento da linha de costa, com cristas bem definidas. A duna mais externa (frontal) evidenciava menor número de *blowouts*, pelo que as formas têm continuidade lateral, discernível na fotografia aérea apesar da vegetação. Neste segmento, a vegetação presente no cordão dunar encontrava-se mais desenvolvida.



**Figura 5.11** - Troço que exhibe melhor estado de conservação a 5,3 km do início da área de estudo.

Em síntese, o estado de conservação 1 da classificação de Hesp, não foi encontrado em nenhum dos segmentos analisados, nem em 2008 nem em 2018. A área em estudo apresentava, em 2008, uma média global de 38% de coberto vegetal e o estado de conservação 4 era o mais representado, principalmente nos troços B e C; o troço A, ainda menos vegetado, era classificado no estado 5 em 2008. Em 2018, a área estudada apresentava cerca de 75-45% de vegetação (média 53%), sendo agora o estado 3 mais frequente. O troço A continuava a apresentar os mínimos valores de cobertura pela vegetação (diminuiu de 10 para 5% entre 2008 e 2018) e nada contribuiu para a melhoria global do estado de conservação, como indicado pela densidade do coberto vegetal. Pelo contrário, a percentagem de área vegetada aumentou na generalidade para sul, nos troços B e C (e principalmente neste último), onde se observaram melhorias significativas, quer na percentagem de coberto vegetal quer nas características morfológicas das dunas. Tal deve-se à diminuição da pressão dos utentes e do controle do pisoteio, quer de pedestres quer de veículos.

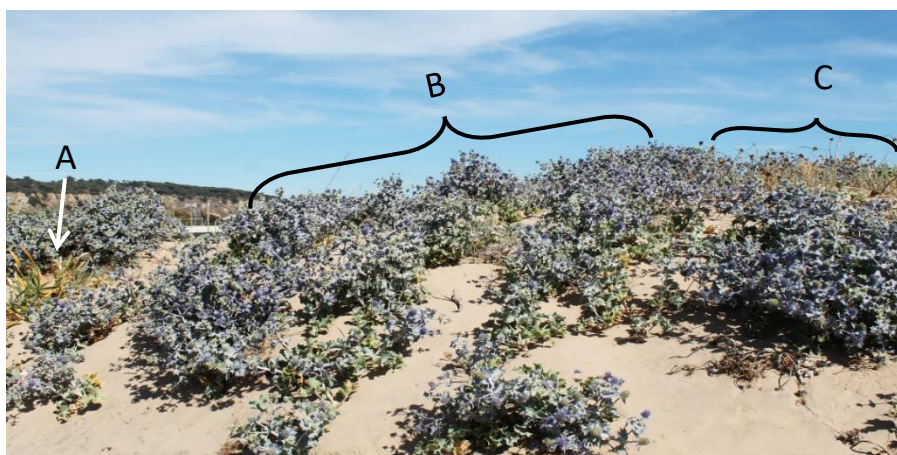


### 5.3.2. Tipo de vegetação

Neste ponto apresentam-se os resultados da caracterização do coberto vegetal das dunas na área de estudo. Estes resultados fundamentam-se em observações de campo que incidiram sobre as principais espécies de vegetação presentes no cordão dunar frontal da Nova Praia, praia da Saúde, praia da Mata, praia da Rainha e da praia da Bela Vista. De facto, para além da densidade de vegetação, McKee (1979), refere que o tipo de vegetação é extremamente importante para a fixação de dunas e esta diversidade pode também auxiliar a caracterizar o estado de conservação dos corpos eólicos costeiros.

As praias localizadas no extremo norte da área de estudo apresentam menor quantidade de vegetação, como já referido, o número de espécies identificadas também é menor. A proximidade ao centro urbano da Costa da Caparica, bem como a presença dos parques de campismo junto ao cordão dunar frontal, impedem a colonização por espécies menos resistentes.

Na Nova Praia, o cardo-marítimo (*Eryngium maritimum*) é a espécie dominante (Figura 5.12). O facto da sua estrutura conter espinhos pode justificar esta dominância, sendo o pisoteio menos frequente em comparação com elementos de superfície dunar colonizados por outras espécies. Pontualmente, ocorre *Cyperus capitatus*, *Pancratium maritimum* e a espécie exótica *Carpobrotus edulis* (chorão-da-praia) (Figura 5.13).



**Figura 5.12** - Duna da Nova Praia (22 de junho de 2019). **A**- Lírio-das-praias; **B** – Cardo marítimo; **C** – *Cyperus capitatus*.



**Figura 5.13** - Duna entre a Nova Praia e a da Saúde, com destaque para o entulho sobre a duna e a presença de vegetação exótica – Chorão-da-praia (22 de junho de 2019).

Na praia da Saúde, a ação antrópica é ainda bastante marcada pela proximidade ao parque de campismo, como também pelas diversas construções sobre o cordão dunar frontal. As espécies são sobretudo exóticas (chorão-da-praia), com presença limitada de *Eryngium maritimum* e *Cakile maritima* (Eruca-marítima) (Figura 5.14).



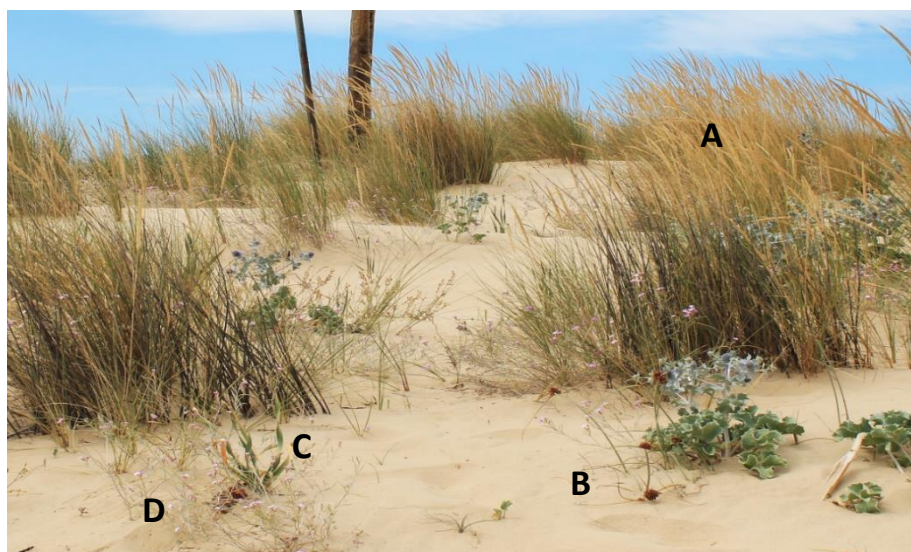
**Figura 5.14** - Duna da praia da Saúde (6 de agosto de 2019). **A** – Chorão-da-praia; **B**- Eruca-marítima; **C** – Cardo-marítimo.

Para sul desta praia, a ocupação e variedade de espécies vegetativas aumenta, em relação com o afastamento ao centro urbano. Na praia da Mata, *Ammophila arenaria*, *Elymus farctus* e *Eryngium maritimum* são as espécies dominantes (Figura 5.15), mas acompanhadas de outras espécies, como *Malcolmia littorea* (goivo das areias) (em grande número), e *Euphorbia paralias* (Morganheira-das-areias). Com menor expressão ocorrem também *Cakile maritima*, *Pancratium maritimum*, *Cyperus capitatus* e *Hedypnois arenaria* (Figura 5.16).



**Figura 5.15** - Crista da duna frontal da praia da Mata (17 de julho de 2019 – Ana Bastos). **A** – Cardo-marítimo; **B** – Chorão-da-praia; **C** – Morganheira-das-areias.





**Figura 5.16** - Duna da praia da Mata (17 de junho de 2019). **A** - Estorno; **B** - *Cyperus capitatus*; **C** - Lírio-das-areias; **D** - Goivo-da-praia.

Para sul, na praia da Rainha, a presença de espécies exóticas ainda é considerável, tanto na base do cordão dunar frontal como na duna secundária (Figura 5.17). A percentagem de estorno e feno-das-areias aumenta, assim como a de outras espécies como *Euphorbia paralias*; surge aqui também *Calystegia soldanella* (couve marinha) (Figura 5.18).



**Figura 5.17** - Duna frontal da praia da Rainha, colonizada por espécies exóticas – neste caso – Chorão-da-praia.



**Figura 5.18** - Duna embrionária da praia da Rainha, com feno-das-areias e couve marinha.

Na praia da Bela Vista, espécies como *Euphorbia paralias* e *Pancratium maritimum* aumentam significativamente (Figura 5.19). A presença de feno-das-areias e *Eryngium maritimum* é superior, principalmente nas zonas em recuperação e na duna embrionária. *Otanthus maritimus* (Figura 5.21), *Artemisia crithmifolia* (Figura 5.20), *Sedum sediforme* (erva-pioneira) e *Helichrysum italicum* var. *picardii* (perpétua-das-areias) colonizam o espaço dunar, sendo mais frequentes na crista e no tardo da duna.



**Figura 5.19** - Duna da praia da Bela Vista. A – Feno das areias; B - Morganheira-das-praias; C – Cardo-marítimo; D – Estorno.



**Figura 5.21** - Mancha de cordeiros-da-praia na duna da praia da Bela Vista.



**Figura 5.20** - Exemplo de Erva-lombrigueira na duna da praia da Bela Vista.

O feno-das-areias (*Elymus farctus*) está presente na alta praia, ocupando a face anterior do primeiro cordão dunar, sendo uma das plantas pioneiras na colonização da duna. Esta planta é resistente à salinidade e à instabilidade do substrato, pelo que a sua presença demonstra um bom desenvolvimento e potencial de recuperação da duna. Na área de estudo e também colonizando as dunas embrionárias são frequentes a morganheira-das-areias (*Euphorbia paralias*), o cordeiro-da-praia (*Otanthus maritimus*) e a couve-das-areias (*Calystegia soldanella*).



Na crista do primeiro cordão dunar, onde a areia ainda apresenta mobilidade elevada, encontra-se a *Ammophila arenaria* (estorno). Esta espécie (autóctone) possibilita a recuperação das dunas, uma vez que permite a sua fixação com sistemas rizomatosos, que se propagam horizontal e verticalmente, de acordo com a forma da acumulação arenosa. O estorno, uma vez que não é resistente a inundações frequentes, permite o desenvolvimento do *Elymus farctus* e *Otanthus maritimus* (Costa, 2001). O cardo-marítimo (*Eryngium maritimum*), e *Herniaria maritima*, são também espécies colonizadoras do cordão dunar frontal.

A ação do estorno na face posterior do cordão dunar e nas dunas secundárias permite uma maior fixação das areias permitindo ou favorecendo o desenvolvimento de outras espécies como a *Artemisia vulgaris*, *Sedum sediforme* (Erva-pioneira) e a perpétua-das-areias (*Helichrysum italicum* var. *picardii*).

O estudo das principais espécies colonizadoras do espaço dunar confere um suporte para a compreensão do desenvolvimento e potencial de recuperação das dunas. Com base na observação da abundância de vegetação e das principais espécies dominantes no sistema dunar, verifica-se que o troço A, onde a Nova Praia e a Praia da Saúde se incluem, é o que se encontra em pior estado de conservação em ambos os anos analisados.

Para além de uma percentagem de ocupação de vegetação muito baixa, a diversidade é diminuta; o estorno ou o feno-das-areias (espécies tipo III) não estão presentes e a vegetação é essencialmente representada pelo chorão-da-praia. Em conjunto, estas observações indicam degradação muito considerável das dunas.

No troço B, onde se incluem a Praia da Mata e a da Rainha já se evidencia alguma melhoria do estado de conservação, uma melhoria indicada quer pelo número quer pelo tipo de espécies vegetativas. O estorno e o feno-das-areias aumentam a sua representatividade e surgem outras espécies, como por exemplo a couve marinha. Para sul, na Praia da Bela Vista, (troço C), observa-se o desenvolvimento de espécies não visíveis a norte, como o cordeiro-das-praias e a erva-lombrigueira. A percentagem de vegetação é também superior.

De um modo geral, verifica-se que existe um domínio das espécies tipo III ao longo do cordão dunar, a partir e para sul do troço B, representando a manutenção do equilíbrio dinâmico e um bom estado de conservação (García-Mora *et al.*, 2001).

Em relação à generalidade da quantidade de ocupação vegetativa, na última década esta quantidade aumentou, em média na área total de estudo, de 38% para 53%, sendo classificado com o estado 4 e estado 3, respetivamente. O troço que apresentou um maior aumento foi o troço C, precisamente o que se encontra mais afastado de influências antrópicas. O contrário verifica-se no troço A, que sofreu uma diminuição na percentagem de superfície vegetada nos últimos 10 anos.

O pisoteio frequente é o motivo que mais contribui para o aumento da vulnerabilidade do ecossistema dunar na medida em que o sistema não tem tempo de se autorregenerar, isto é, a perturbação induzida pelo pisoteio indiscriminado e sistemático não permite o crescimento de novas plantas antes que uma nova perturbação tenha lugar. Assim, nas praias do troço A, onde o pisoteio por parte de veraneantes e veículos é generalizado e intenso, o número de espécies colonizadoras é muito reduzido e praticamente só se observam espécies exóticas. Para sul, o afastamento ao centro urbano e a diminuição dos utentes das praias, bem como o seu encaminhamento para corredores de atravessamento bem definidos refletem-se positivamente na conservação das formas e no potencial de recuperação morfológica, bem como na densidade e diversidade de vegetação e desenvolvimento dunar.

## 5.4. Evolução da duna da praia da Mata e avaliação do desempenho de uma estrutura de retenção de areia

### 5.4.1. Distribuição espacial da erosão e da acreção

A praia da Mata é uma das praias mais frequentadas do concelho de Almada dada a sua proximidade ao centro urbano e os parques de campismo. A elevada frequência de atravessamento do corpo dunar levou a um aumento da sua degradação, uma vez que o acesso à praia era efetuado sem qualquer controlo, diretamente do parque de estacionamento para a praia, atravessando a duna (Figura 5.22).

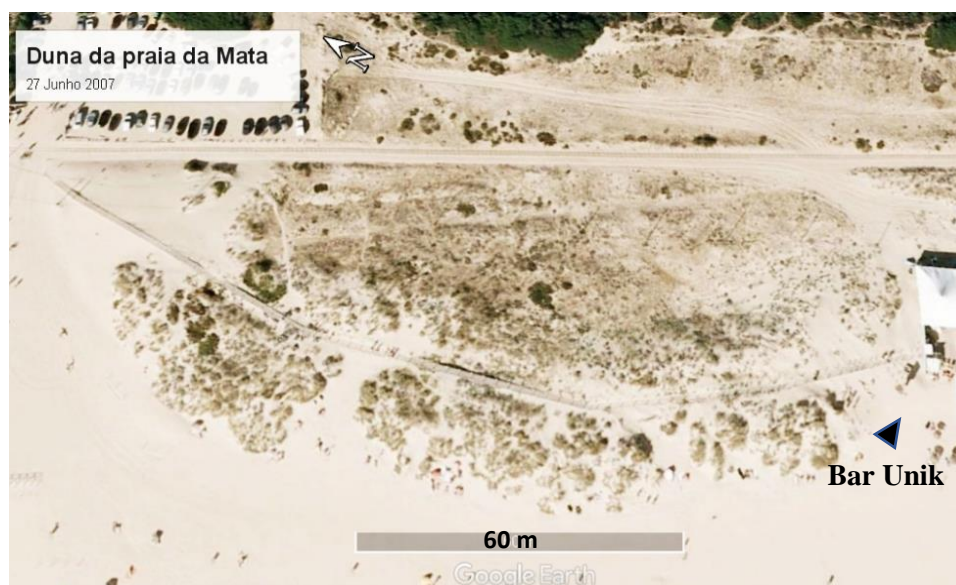


Figura 5.22 - Duna da praia da Mata: imagem satélite GoogleEarth® de 27 de junho de 2007.

O pisoteio desordenado ganhou maior expressão com a construção do restaurante bar Unik numa região deprimida do cordão dunar, correspondente a um *blowout*, localizado umas centenas de metros a sul do acesso principal, sensivelmente a meio do comprimento do cordão dunar estudado. O acesso a este bar fazia-se quer pelo tardo da duna (depois de um percurso ao longo da linha do comboio *Transpraia*), quer por um passadiço assente sobre a duna (visível na Figura 5.22) a partir do qual os pedestres podiam descer para o areal da praia. Este bar foi removido após o verão de 2016, na sequência de um incêndio (cf. *cm-jornal.pt*, 2019), que ali deixou alguns vestígios (escombros, lixo) ainda hoje visíveis no terreno (Figura 5.23).



Figura 5.23 - Região sul da duna da Praia da Mata, com lixo na base da vertente barlavento.

A pressão antrópica sobre a duna levou a uma intervenção de restauro no âmbito Projeto-piloto Agenda 21 do concelho de Almada, iniciada em 2012. Esta intervenção consistiu na colocação de estruturas de retenção de areia (paliçadas de vime), vedações para delimitação da área de intervenção e inibição do atravessamento, bem como plantação de cerca de 1600 propágulos vegetativos de *Ammophila arenaria*.

A primeira fase desta intervenção é observável nas imagens satélite de 2014 (Figura 5.24), onde é visível um alinhamento (cordão de limitação) contornando a base da duna, e, um reticulado na região menos vegetada, a norte, próxima do parque estacionamento, que corresponde às primeiras estruturas de retenção de areia ali instaladas. Também o antigo passadiço de acesso foi relocado.



Figura 5.24 - Imagem satélite GoogleEarth® de 18 de agosto de 2014.

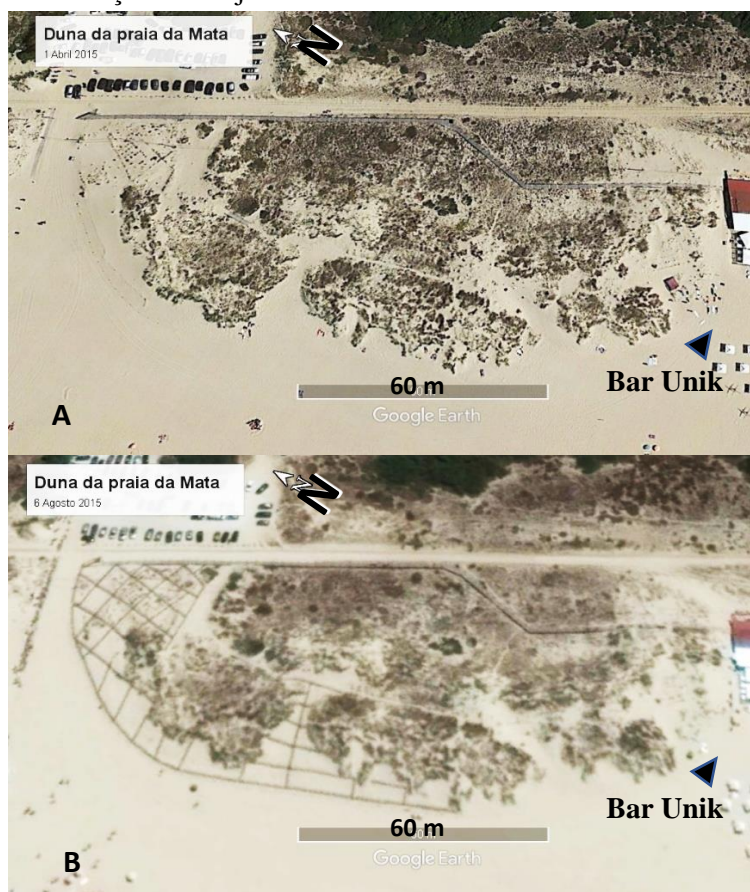
Já em 2012 foi instalado um painel informativo sobre a intervenção e o valor da proteção das dunas para o meio ambiente para sensibilizar os utentes do espaço balnear, equipamentos e apoios de praia (Silva, 2012) (Figura 5.25), no âmbito do projeto ReDUNA. Embora este projeto (um projeto de restauro de dunas concretizado pelo município de Almada a partir de fevereiro 2014) se tenha restringido ao troço de São João da Caparica, verificou-se nos trabalhos de campo a existência de painéis informativos na praia da Mata que o referenciam.



Figura 5.25 - Painel informativo junto ao acesso à praia da Mata.



Na imagem do GoogleEarth® de 1 de abril de 2015, as intervenções implementadas pelo projeto Agenda 21, em 2012, verificam-se parcialmente soterradas e o cordão de limitação do acesso às dunas possivelmente encontrava-se degradado. Entre abril e agosto de 2015, as imagens satélite do Google Earth® (Figura 5.26) mostram claramente a expansão de intervenções de retenção efetuadas numa porção significativa da duna, embora não a tenham englobado na totalidade. À semelhança das praias a Norte da Costa da Caparica, infere-se que a instalação destas novas retenções de areia na praia da Mata tenha decorrido da concretização do Projeto ReDuna.



**Figura 5.26** - Imagens do Google Earth®. A: 1 de abril de 2015 – intervenções de 2012 (projeto Agenda 21) parcialmente soterradas; B: 6 de agosto de 2015 - Expansão significativa de paliçadas na duna da praia da Mata.

As análises de fotografias aéreas (Anexo 6.) e observações de terreno tomadas no âmbito do presente trabalho mostram que houve, desde 2012, uma alteração significativa da morfologia da duna, com aumento da sua envergadura, da densidade e diversidade da vegetação, apesar de ser um local suscetível à ação do mar e do vento; as estruturas de retenção de areia encontravam-se à data do presente trabalho parcialmente ou totalmente soterradas (Figura 5.27).



**Figura 5.27** - Paliçadas parcialmente soterradas no interior do corpo dunar frontal.

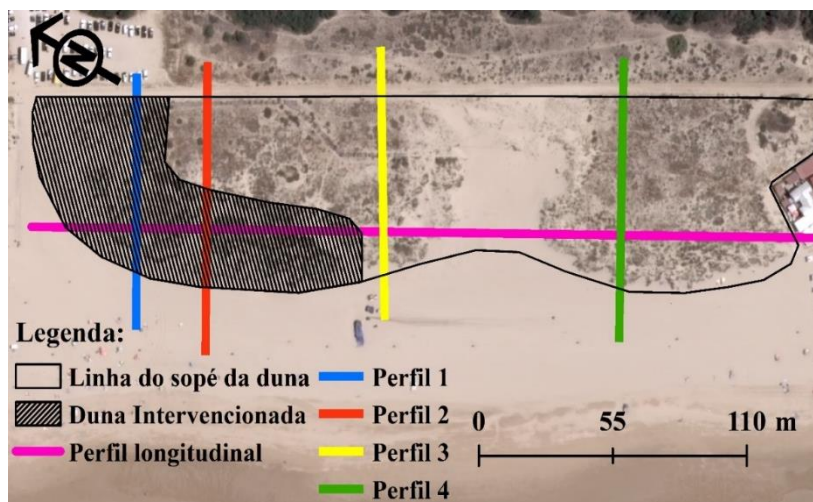
Para além das observações acima, de natureza essencialmente qualitativa procurou-se no âmbito deste trabalho avaliar quantitativamente os padrões de desenvolvimento volumétrico desta duna bem como o desempenho das estruturas de retenção de areia ali colocadas.

Para este efeito recorreu-se à comparação dos seguintes levantamentos topográficos (Anexo 7.):

- MDT de 2019 (construído no âmbito do presente trabalho a partir de levantamento de campo) que representa a atualidade;
- MDT de 2014 (Direção Geral do Território): anterior à intervenção generalizada de restauro dunar, mas posterior à intervenção localizada a norte, ao abrigo do Projeto Agenda 21, como comprovado pelas imagens satélite;
- MDT de 2011 (CMA): anterior a qualquer intervenção de restauro ou requalificação, gerado a partir da cartografia homologada do concelho de Almada, à escala 1:1 000, de 2011, cedida pelo DIACS - Município de Almada;
- Levantamento aerofotogramétrico de 2008 (Direção Geral do Território), também anterior a qualquer intervenção de restauro ou requalificação.

Estes elementos permitiram comparar a volumetria e organização morfológica da duna frontal recorrendo a perfis transversais e à comparação de MDT.

Para ilustrar esta evolução, foram construídos quatro perfis topográficos, paralelos entre si e perpendiculares à linha de costa, como também um perfil longitudinal ao longo do comprimento de duna, com cerca de 300 m (Figura 5.28).

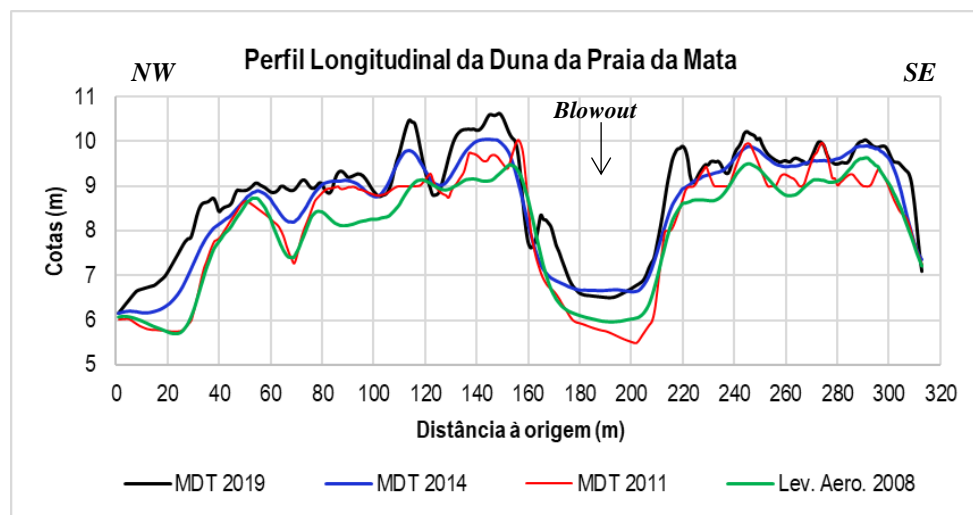


**Figura 5.28** - - Localização dos perfis topográficos transversais e longitudinal na duna da praia da Mata, indicando-se também o perímetro da zona intervencionada.

A sobreposição de perfis topográficos diacrónicos permite perceber que a duna aumentou de cota, tanto no domínio dos valores mínimos como no dos máximos. O perfil longitudinal da Figura 5.29 proporciona uma visão geral do desenvolvimento da morfologia da duna frontal ao longo da costa, exhibe, para além de crescimento generalizado, maior variação (positiva) de cotas ocorreu no extremo NW da duna.

As variações pontuais na topografia, correspondentes a possíveis *blowouts*, foram na sua maioria suavizadas. Estas variações, tanto pontuais como generalizadas são interpretadas como resultado da inibição do atravessamento e interdição do estacionamento de automóveis.

Em 2019, as cotas máxima e mínima encontradas neste perfil foram de 10,6 m e 6,2 m, enquanto em 2008 eram 9,6 m e 5,7 m, respetivamente. A cava mais pronunciada, presente no perfil longitudinal, foi ocupada até 2016 pelo bar Unik, não tendo evoluído significativamente entre 2008 e 2011. Em 2014, ainda com o restaurante em atividade, o corredor do *blowout* acumulou areia, mantendo-se posteriormente a cota estável. Após a remoção do bar, em 2016, as principais diferenças associam-se à acumulação de sedimentos arenosos nas margens do corredor eólico, na ordem de 1 m de altura.



**Figura 5.29** - Perfil longitudinal NW-SE da duna da praia da Mata em diferentes momentos. Localização na Figura 5.28.

Os perfis transversais à linha de costa (Figura 5.30) apresentam comportamento geral semelhante ao do perfil longitudinal, na medida em que as cotas da duna tendencialmente incrementam ao longo do tempo anos. Esta variação está intimamente relacionada com a captura de sedimentos e acreção, principalmente na face da duna frontal virada ao mar. Junto ao caminho-de-ferro, isto é, na região próxima do sopé da face sotavento da duna, a variação de cotas é praticamente nula, verificando-se uma condição de quase estabilidade em todos os perfis.

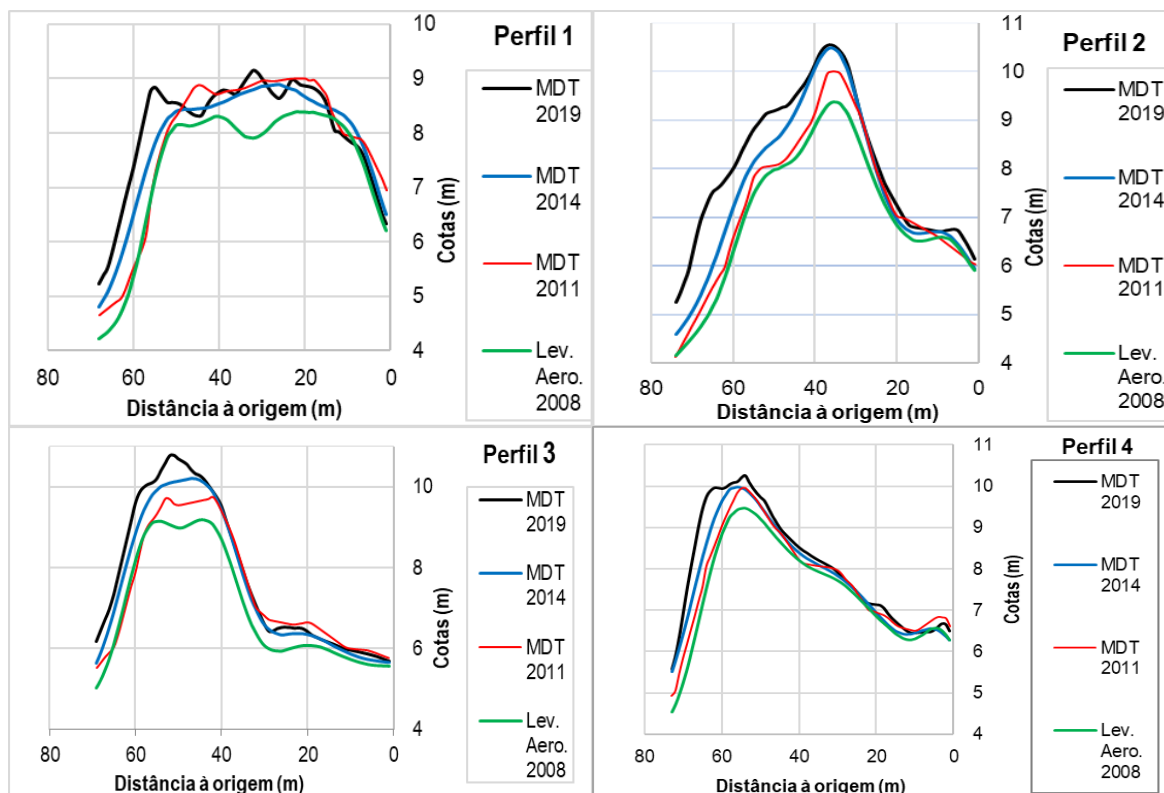
O perfil 1 de 2019 exprime a topografia em região integralmente afetada pelas estruturas de retenção de areia. A diferença entre o perfil de 2008 para o atual é na ordem de 1 metro em altura, e na face virada ao mar (barlavento) observa-se avanço da ordem de 2 m da duna sobre a praia. Em 2019 topografia é mais irregular quando comparada com a de anos anteriores.

O perfil 2 exibe uma forma praticamente invariante, ao longo do tempo, na vertente sotavento, virada a terra. Pelo contrário, a face barlavento (que progradou sobre a praia) e a crista (que subiu em cota cerca de 1 m) evoluíram significativamente. O limite interno das estruturas de retenção coincide, neste perfil com a fronteira que separa o domínio quase estável do domínio em evolução.

Os perfis 3 e 4 localizam-se em troços da duna que não foram objeto de intervenções de restauro. A maior variação no perfil 3 ocorre na crista da duna, que aumentou de 9 m para praticamente 11 m em cota. No tardoz da duna a variação de cotas é de pequena magnitude, tendo ocorrido maior variação entre 2008 e 2011.

Também no perfil 4, o tardoz da duna não exibe uma variação significativa e a face barlavento progradou sobre a praia. A maior variação sentida na duna ocorre na crista com o aumento em cota na ordem de 80 cm.



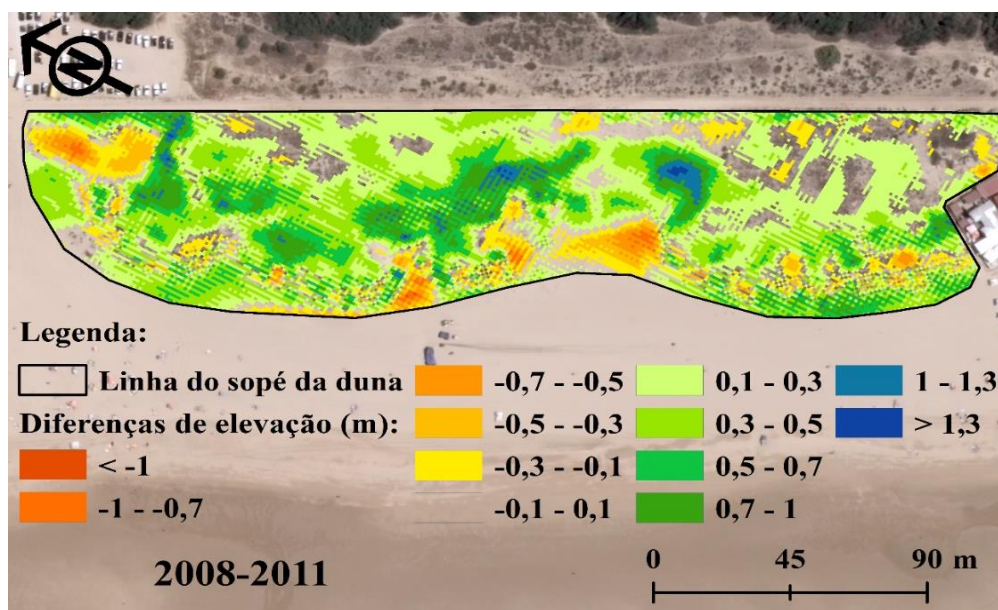


**Figura 5.30** - Perfis topográficos transversais da duna da praia da Mata em diferentes momentos.  
Localização na Figura 5.28.

Sintetizando, os perfis representados acima ilustram um padrão de evolução morfológica caracterizado por acreção significativa da crista da duna frontal e avanço da vertente barlavento da duna sobre a praia, sendo as variações observadas no tardoz insignificantes ou de pequena magnitude. Este padrão de evolução afetou os troços de duna a norte e a sul do corredor de deflação temporariamente ocupado pelo bar-restaurante Unik e é idêntico do ponto de vista qualitativo nos troços intervencionados e não intervencionados para efeitos de proteção e restauro dunar. Porém, os dados sugerem que, em termos quantitativos, a recuperação volumétrica foi mais intensa no sector intervencionado.

Os MDT permitem desenhar mapas de diferenças de elevação, comparando aqueles modelos dois a dois e, desta forma, obter uma informação mais robusta sobre a distribuição espacial da evolução morfológica do que a permitida pela comparação de perfis. No caso presente produziram-se os mapas das diferenças de elevação entre 2008 e 2011, 2011 e 2014, 2014 e 2019, 2008 e 2019 (Figura 5.31 a Figura 5.34). Convencionou-se utilizar valores negativos para diferenças de elevação correspondentes a erosão e valores positivos para acumulação. As variações altimétricas centradas no valor zero e com amplitude inferior a 0,20 m, da mesma ordem de grandeza que a incerteza associada ao levantamento (estimada em  $\pm 0,10$  m), foram consideradas como não significativas, e correspondem a elementos de superfície referidos como “estáveis”; estes elementos são representados nas figuras seguintes por polígonos incolores.

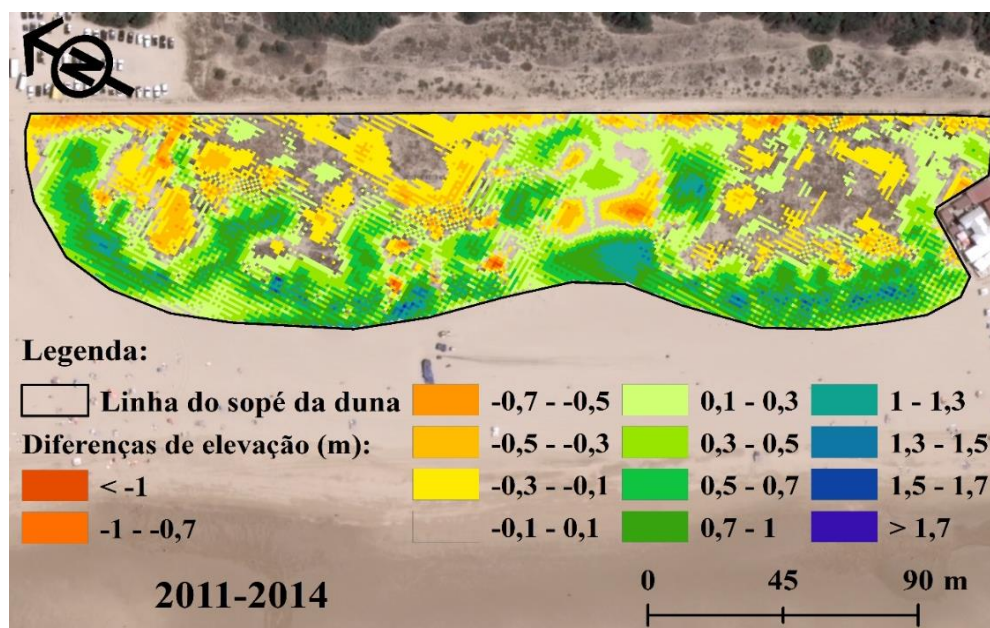
As diferenças de elevação registadas entre 2008 e 2011 (Figura 5.31) evidenciam que ocorreu acumulação de areia praticamente na totalidade da duna. Na região mais a norte observa-se uma área localizada com erosão relevante que se atribui à sua utilização como estacionamento de automóveis. Também no interior cordão dunar frontal há elementos de superfície que indicam diferenças de elevação negativas essencialmente associadas a rebaixamento da superfície pela passagem de pedestres sobre a duna em relação com o equipamento de praia a sul (o bar-restaurante Unik).



*Figura 5.31 - Distribuição espacial das diferenças de elevação (m) entre os levantamentos de 2011 e 2008.*

Entre 2011 e 2014 as diferenças de elevação mostram acumulação de areia ao longo do cordão dunar frontal e na região externa do cordão dunar a norte, associado possivelmente à proteção da duna iniciada em 2012, e num ponto restrito adjacente ao bar Unik (Figura 5.32). Nestes locais a acumulação de sedimentos foi na ordem de 1 m, chegando a atingir valores superiores a 1,5 m.

No entanto, não ocorreram acreções vultuosas na generalidade do domínio, sendo que na região adjacente ao sopé da duna primária do lado de terra, tanto a erosão como os locais definidos como estáveis encontravam-se dispersos. Junto ao caminho-de-ferro a erosão corresponde a uma banda estreita e contínua que é interpretada como devida à passagem de pedestres e veículos (nomeadamente de 2 rodas) para aceder ao bar.



*Figura 5.32 - Distribuição espacial das diferenças de elevação (m) entre os levantamentos de 2014 e 2011.*



No mapa de diferenças de elevação 2014 - 2019 (Figura 5.33), constata-se uma acumulação muito significativa no cordão dunar primário na região mais a norte, praticamente coincidente com a zona onde foram implementadas as armadilhas de areia. O *blowout* onde se encontrava o bar de praia foi também sede de acumulação significativa, demonstrando que o sistema praia-duna se encontrava ativo e que a duna estava recetiva às areias provenientes da alta praia. As maiores diferenças de elevação excedem 1,5 m e correspondem a acumulação de areia no cordão dunar primário e na parede sul da orla erosiva do *blowout*. A acumulação significativa no domínio do *blowout* deve-se ao facto de o bar de praia aí existente ter sido retirado após o verão de 2016.

Na região adjacente ao sopé da duna primária do lado de terra, observa-se essencialmente estabilidade, polígonos dispersos, espacialmente descontínuos, separados por locais de acreção.

No que diz respeito às manchas associadas às diferenças de elevação negativas, estas distribuíam-se de modo descontínuo no espaço e com pouco desenvolvimento, correspondendo na sua maioria a valores de rebaixamento inferiores a 0,5 m.

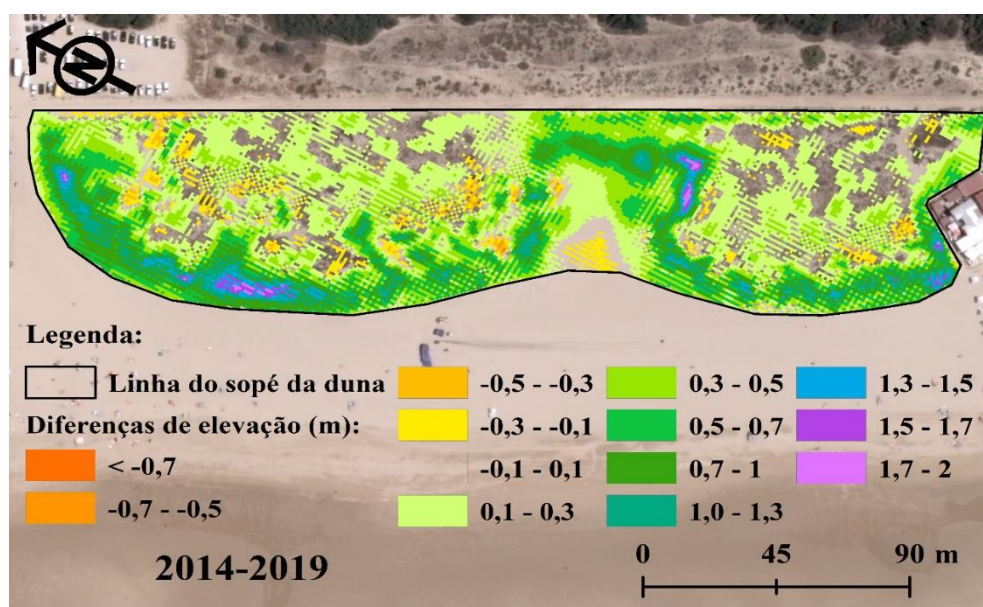


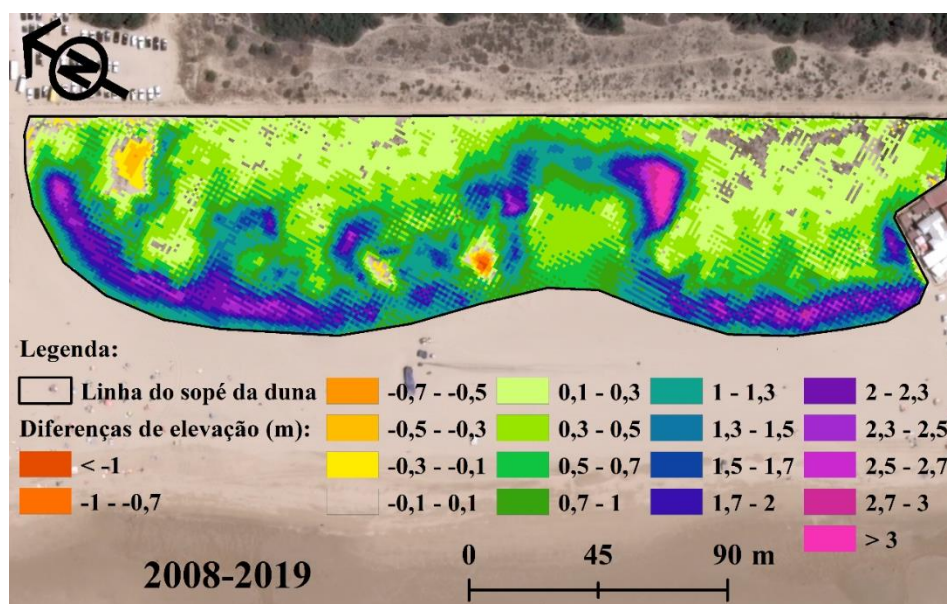
Figura 5.33 - Distribuição espacial das diferenças de elevação (m) entre os levantamentos de 2019 e 2014.

De um modo geral, os polígonos correspondentes a variação não significativa, aqui designados como “estáveis”, distribuem-se de forma descontínua no espaço embora sejam mais frequentes nos extremos NW e SE do cordão dunar e também na duna secundária.

Esta estabilidade é interpretada como resultante da retenção preferencial de areias transportadas da praia para o cordão dunar mais próximo da praia. O facto do domínio mais interno se encontrar mais abrigado da ação dos ventos intensos e de a região mais externa exibir vegetação densa e desenvolvida dificulta a remobilização dos sedimentos e a alimentação do cordão mais interno. A acumulação começará a ser mais evidente se e quando ocorrer diminuição da retenção sedimentar do domínio externo, possibilitando o transporte de areia para o interior.

Comparando 2008 com a situação atual (Figura 5.34), a acreção ocorreu sobretudo no cordão primário e na vertente lateral barlavento do *blowout*, atingindo valores na ordem dos 3 m.

A situação de erosão não prevalece sobre a acumulação afetando pontualmente alguns locais, tais como, imediatamente a sul do acesso principal à praia e antigo parque de estacionamento. Também junto à aba lateral norte do *blowout* há expressão pontual de erosão (diferença de elevação de cerca de 1 m), correspondente a um trilho criado por pedestres que afetou a morfologia da duna ao longo do tempo.



**Figura 5.34** - Distribuição espacial das diferenças de elevação (m) entre os levantamentos de 2019 e 2008.

#### 5.4.2. Variação volumétrica e balanço sedimentar

Os valores obtidos para a magnitude da erosão e acumulação na totalidade do edifício dunar estudado, correspondendo a uma área total de cerca de 21 260 m<sup>2</sup>, encontram-se sintetizados na Tabela 5.4 e estão ilustrados nas figuras do Anexo 8. A taxa de acumulação anual líquida é expressa pela razão entre o balanço sedimentar e o intervalo de anos considerado, sendo o balanço sedimentar a resultante líquida entre o volume de acreção e o de erosão.

**Tabela 5.4** - Magnitude da erosão e acumulação e taxa de acumulação anual líquida (m<sup>3</sup>/ano) na totalidade do edifício dunar.

Duna total	Acreção		Erosão		Estabilidade Área (m <sup>2</sup> )	Balanço sedimentar (m <sup>3</sup> )	Taxa de evolução líquida (m <sup>3</sup> /ano)
	Volume (m <sup>3</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )			
<b>2008 a 2011</b>	5687	14455	750	2542	4308	4937	1646
<b>2011 a 2014</b>	5707	11492	1116	4476	5246	4591	1530
<b>2014 a 2019</b>	7298	15410	206	1009	4790	7092	1418
<b>2008 a 2019</b>	16908	20015	79	252	1093	16829	1530

Na Tabela 5.5 reportam-se os resultados referentes aos volumes de acreção erosão e balanço sedimentar relativos à evolução da zona intervencionada que totaliza cerca de 5835 m<sup>2</sup>, cerca de 27% da superfície total em análise.

**Tabela 5.5** - Magnitude da erosão e acumulação e a taxa de acumulação anual líquida (m<sup>3</sup>/ano) na zona intervencionada.

Duna intervencionada	Acreção		Erosão		Estabilidade Área (m <sup>2</sup> )	Balanço sedimentar (m <sup>3</sup> )	Taxa de evolução líquida (m <sup>3</sup> /ano)
	Volume (m <sup>3</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )			
<b>2008 a 2011</b>	1675	3905	334	1040	898	1341	447
<b>2011 a 2014</b>	2196	4030	314	1032	753	1882	627
<b>2014 a 2019</b>	2889	4649	78	370	804	2811	562
<b>2008 a 2019</b>	6127	5393	46	182	287	6081	553

Os resultados indicam que a duna da praia da Mata apresenta uma tendência global para acumulação de sedimentos, tanto na totalidade do domínio estudado como no sector intervencionado, como indicado pelo sinal positivo dos resultados do balanço sedimentar em todos os períodos de comparação (Tabela 5.4 e Tabela 5.5). Entre 2008 e 2019, o volume acrescido na duna da praia da Mata é muito superior a 16 500 m<sup>3</sup> (cerca de 6100 m<sup>3</sup> na zona intervencionada), enquanto o volume erodido é residual (79 m<sup>3</sup> na totalidade da duna e 46 m<sup>3</sup> na região intervencionada). O balanço sedimentar ponderado pela área indica que a região intervencionada acumulou 1.3 vezes mais areia que o restante domínio neste intervalo de tempo.

A comparação dos dados de 2008 e 2011 para a totalidade da duna e para a área intervencionada produz resultados diferentes; a ponderação do balanço sedimentar pela área indica acumulação de uma espessura média de areia de 0.23 m em qualquer dos domínios. Recorda-se que esta comparação reflete a evolução na ausência de qualquer intervenção de conservação ou restauro, sendo o volume de areia mobilizado dependente da erosão e acumulação “naturais”.

Já os valores de 2011 a 2014 (intervalo de tempo também de 3 anos) indicam que o balanço sedimentar na área intervencionada, uma vez ponderado pela área, corresponde à acumulação de uma lâmina de areia com 0.32 m de espessura em valor médio, um número que é 1.5 vezes superior à espessura da acumulação na totalidade do domínio (0.22 m).

Estes resultados indicam que as primeiras intervenções na duna, materializadas pelo encaminhamento do atravessamento, construção de paliçadas de retenção e plantação de espécies dunares promoveram recuperação do sistema dunar num intervalo de tempo pequeno.

Entre 2014 e 2019, mantém-se o contraste entre a área intervencionada e o domínio global; no primeiro caso o balanço sedimentar corresponde à acumulação de uma lâmina com 0.48 m de espessura enquanto no segundo essa espessura é de 0.33 m.

Se o tempo for considerado explicitamente (3 anos nos dois primeiros períodos de comparação e 5 anos, no último) a taxa de acreção média anual na zona intervencionada varia de 0.08 em regime “natural” para 0.11 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/ano com as primeiras intervenções, e diminui depois ligeiramente, para 0.10 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/ano, na comparação mais recente. Estes valores comparam-se com 0.08, 0.07 e 0.07 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/ano, na área total.

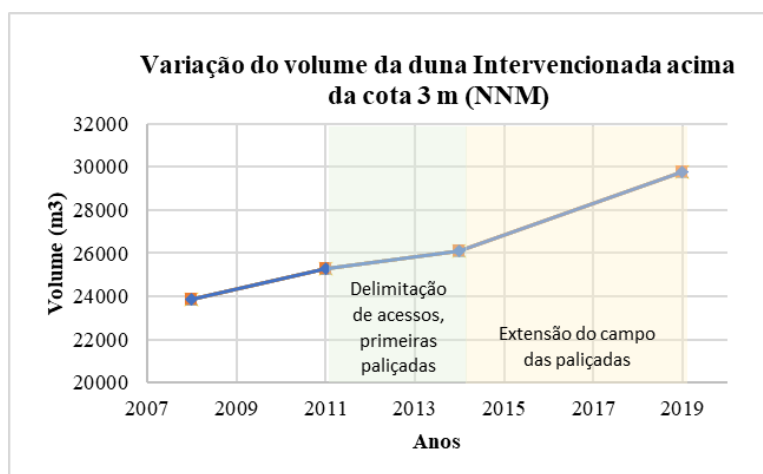
Verifica-se assim que as intervenções mantiveram eficácia no passado mais recente, embora não tenha havido reparação ou levantamento das paliçadas (nem reintrodução de vegetação), o que pode ter contribuído para a ligeira redução da espessura de acumulação.

Devido à progradação da duna sobre a praia, o polígono comum a todos os levantamentos em comparação não inclui exclusivamente território dunar. Optou-se assim por quantificar também o volume da duna acima da cota +3m (NMM) nos diversos levantamentos relativos à região intervencionada com os resultados representados na Tabela 5.6 e Figura 5.35.

Dada a aproximação dos resultados acima apresentados com os valores sintetizados na Tabela 5.6, permite indicar que ambos os métodos representam a evolução da duna da praia da Mata. Consta-se que o volume acrescido acima da cota dos +3m (NMM) para a duna intervencionada representa 1/3 do volume acumulado na totalidade do edifício dunar. A duna acumulou um valor superior a 16 500 m<sup>3</sup>, entre 2008 e 2019, representando o aumento na zona intervencionada praticamente 36% desse valor, apesar de essa superfície corresponder a pouco mais de ¼ da superfície total em análise. Compreende-se que o período entre 2014 e 2019 foi o período que maior acumulação ocorreu, quer na duna intervencionada, quer da duna total, período que reflete a extensão do campo de paliçadas em 2015, confirmando a eficácia desta intervenção.

**Tabela 5.6** - Volume de duna intervencionada e total determinado acima da cota +3 mm (NMM).

Ano	Duna Intervencionada			Duna Total		
	Volume acima da cota +3 m (NMM) (m <sup>3</sup> /m)	Diferença de volumes (m <sup>3</sup> /m)	Balanco sedimentar (m <sup>3</sup> )	Volume acima da cota +3 m (NMM) (m <sup>3</sup> /m)	Diferença de volumes (m <sup>3</sup> /m)	Balanco sedimentar (m <sup>3</sup> )
2008	23870	1416	1341	86096	5021	4937
2011	25286			91117		
2014	26115	829	1882	95524	4407	4591
2019	29791	3676	2811	102670	7146	7092
SOMA		5921	6034		16575	16621



**Figura 5.35** - Representação gráfica do volume acima da cota 3 m na zona intervencionada.

Atualmente verifica-se que as paliçadas se encontram praticamente soterradas, tornando-se nula a sua eficácia e ainda que as vedações que condicionam ao atravessamento da duna se encontram muito degradadas. Atendendo ao exposto acima, será recomendável intervir no sentido da respetiva requalificação a fim de não colocar em perigo os benefícios ambientais conseguidos no passado recente.

No troço de S. João da Caparica, a implementação do projeto de restauro e requalificação ReDuna, entre dezembro de 2014 e março de 2015, permitiu uma acumulação líquida de sedimentos avaliada por Rato (2017) e Rato *et al.* (2019). Os resultados desta monitorização (Tabela 5.7) e foram comparados com os valores obtidos no contexto da avaliação das paliçadas colocadas em 2012 e reforçadas em 2015.

**Tabela 5.7** - Síntese das acumulações líquidas ( $m^3$ ) e das respectivas ponderações de superfície total e na faixa barlavento das dunas da praia de São João da Caparica e da Mata.

			Duna Total	Faixa barlavento/Duna intervencionada
Duna São João da Caparica	Área ( $m^2$ )		50000	8800
	Fev 15/Fev 16	Volume ( $m^3$ )	8265	3614
		Ponderação ( $m^3/m^2/ano$ )	0,17	0,41
	Fev 15/Nov 16	Volume ( $m^3$ )	5063	
		Ponderação ( $m^3/m^2/ano$ )	0,06	
	Fev 16/Fev 17	Volume ( $m^3$ )		1506
		Ponderação ( $m^3/m^2/ano$ )		0,17
	Fev 15/Dez 17	Volume ( $m^3$ )		24735
		Ponderação ( $m^3/m^2/ano$ )		0,73
Duna da Praia da Mata	Área ( $m^2$ )		21260	5835
	2011-2014	Volume ( $m^3$ )	4591	1882
		Ponderação ( $m^3/m^2/ano$ )	0,07	0,11
	2014-2019	Volume ( $m^3$ )	7092	2811
		Ponderação ( $m^3/m^2/ano$ )	0,07	0,10

Constata-se que num ano (entre fevereiro 2015 e fevereiro 2016) a acumulação líquida para a superfície total da duna de São João corresponde a uma média ponderada pela superfície de  $0.17 m^3/m^2/ano$ . Para a faixa barlavento a ponderação é bastante superior, cerca de  $0.41 m^3/m^2/ano$ , refletindo a quase totalidade desta acumulação afetou esta faixa estreita, alongada, paralelamente à praia.

Com a contínua monitorização do ano de 2016, após fevereiro de 2016, verificou-se um decréscimo na acumulação líquida de sedimentos na duna total da praia de São João. Tal verifica-se com a diminuição do valor de ponderação na ordem dos  $0.06 m^3/m^2/ano$ , entre fevereiro 2015 e novembro de 2016, obtido através do balanço sedimentar de  $2893 m^3/ano$ .

No período entre fevereiro de 2016 e fevereiro de 2017, para a faixa barlavento (local de maior acumulação), a ponderação determinada foi de  $0.17 m^3/m^2/ano$ . Este valor foi substancialmente menor quando comparado com o período homólogo entre 2015 e 2016, permitindo inferir que a maior acumulação de sedimentos ocorreu imediatamente após as intervenções.

A extensão da série de observações até dezembro de 2017 conduz a valores médios anuais substancialmente superiores, de  $m^3/m^2/ano$  (faixa barlavento). Estes resultados ilustram uma variabilidade sazonal a interanual muito significativa, assim como o período de maior acreção, logo após a colocação das contenções de areia.

Na Duna da praia da Mata os resultados são substancialmente distintos, em primeiro lugar devido à área total da duna que é praticamente 2/5 da duna da praia de São João. As datas de comparação de balanços sedimentares também são diferentes, afetados por variabilidades sazonais e interanuais distintas.

O balanço sedimentar que reflete as intervenções efetuadas em 2012 é representado pelo período entre 2011 e 2014 (3 anos) que apresenta uma média ponderada pela superfície de  $0.11 m^3/m^2/ano$  para a região intervencionada. O balanço na duna total no mesmo intervalo de tempo foi  $1530 m^3/ano$ , o que corresponde a uma média ponderada de  $0.07 m^3/m^2/ano$ .



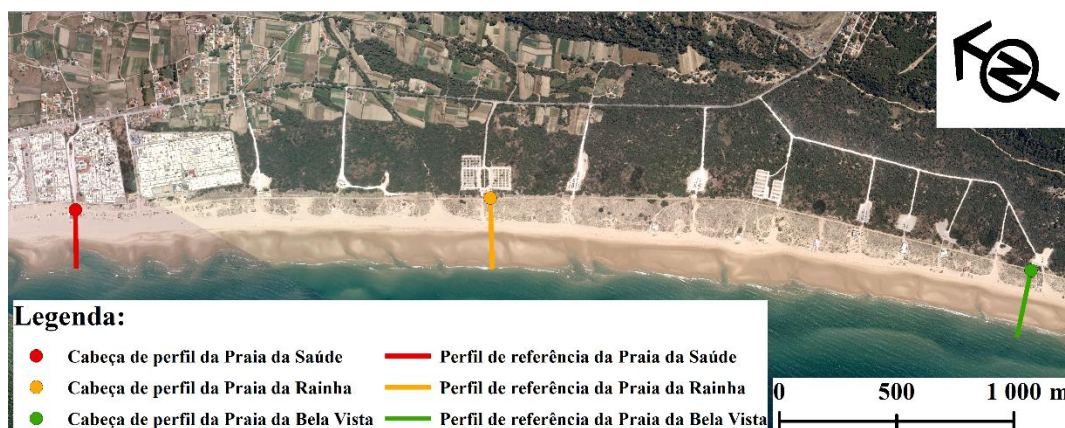
A ponderação para o período correspondente à intervenção de 2015 foi de  $0.10 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{ano}$ , obtida através do balanço sedimentar de  $562 \text{ m}^3/\text{ano}$  (entre 2014 e 2019) na área intervencionada. Na área total e no mesmo intervalo de tempo, o valor médio anual correspondente é de  $0.07 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{ano}$ .

Considerando estes valores como diretamente comparáveis com os de São João, a taxa de acumulação anual líquida por unidade de área na Praia da Mata é da mesma ordem de grandeza da inferida em São João, exceto no ano imediatamente a seguir à construção das paliçadas de retenção. O significado desta diferença deve ser considerado com prudência devido aos diferentes intervalos de tempo utilizados e, como referido acima, à elevada variabilidade que caracteriza o balanço sedimentar das dunas a escalas temporais pequenas.

### 5.5. Variabilidade sazonal e tendência evolutiva das praias a sul da Caparica

A realização de perfis topográficos nas praias da Saúde, da Rainha e da Bela Vista (Anexo 9.) permitiu descrever qualitativamente a sua evolução do ponto de vista morfodinâmico, a escalas temporais curtas e investigar se existe a tendência evolutiva nestas praias no que se refere à retenção sedimentar (Figura 5.36).

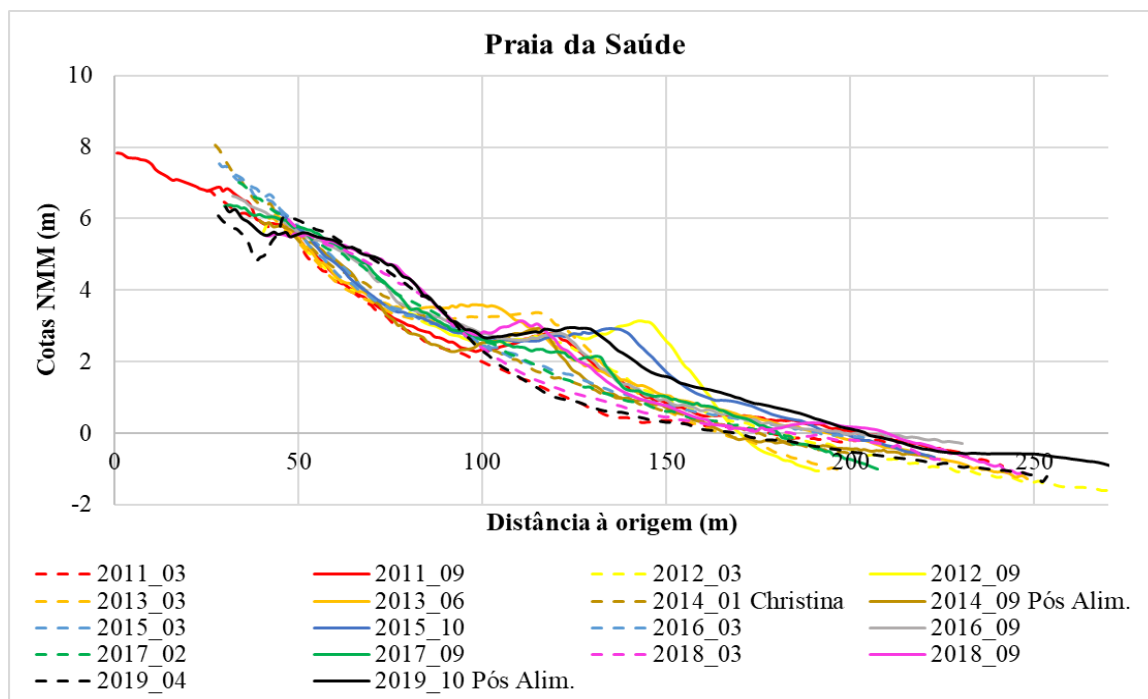
A praia da Saúde (PCC17) localiza-se junto ao Parque de Campismo, próximo do centro urbano, pelo que é designada como uma praia periurbana, aberta e exposta. Esta praia com largura média de 70 m, apresenta um pequeno cordão dunar disperso (fragmentado) e pouco robusto (com 30 m de largura), ocupado na sua maioria por residências, apoios e equipamentos de praia de grande porte como “O Golfinho”.



*Figura 5.36 - Localização dos perfis de referência e das respetivas cabeças de perfil que serviram de base para a realização dos distintos perfis topográficos ao longo dos anos.*

O perfil característico dos meses de verão é próximo do tipo refletivo, com a presença de uma berma entre as cotas 2 e 4 m (NMM) (Figura 5.37). Já nos meses de inverno (ou de tempestade) a praia da Saúde exhibe um perfil ligeiramente côncavo para cima e normalmente sem berma, mais próximo de uma configuração dissipativa, com exceção do perfil “2013\_03”. O traçado dos diversos perfis sugere que a região inferior do talude barlavento da duna está sujeita ao impacto das ondas (principalmente no perfil “2019\_04”) e é remodelado, em regime de calmaria, por acumulação (eólica) de areias.

A variabilidade sazonal também tem expressão na face de praia que se apresenta mais baixa em regime de alta energia.



**Figura 5.37** - Perfis topográficos da praia da Saúde, levantados desde março de 2011 a outubro de 2019. A tracejado estão representados os perfis de inverno enquanto os perfis de verão estão apresentados por linhas contínuas.

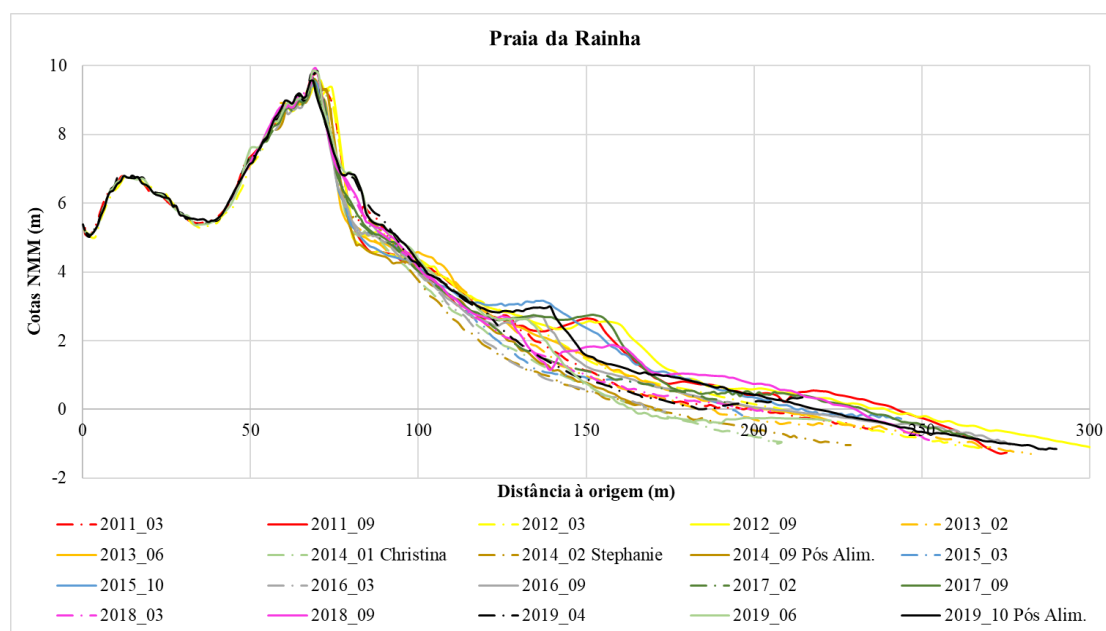
A praia da Rainha (PRA) é uma praia aberta e exposta ao forçamento oceanográfico, com largura média de 60 m. Limitada no interior por um cordão dunar, que se desenvolve para sul e que apresenta uma largura média de 80 m.

Os perfis que representam a morfologia da praia da Rainha (Figura 5.38) mostram que o perfil desta praia é, em termos globais, maioritariamente côncavo para cima, com a presença de pelo menos uma berma nos meses de verão, exibindo assim um perfil intermédio mais próximo do perfil refletivo. A face de praia é íngreme e a berma larga e robusta, atributos que refletem as condições de calmaria ou de baixa energia, típicas do verão.

Nos meses de inverno verifica-se o oposto, os perfis tornam-se mais dissipativos conferindo à praia da Rainha um perfil típico de temporal ou de alta energia. A berma é ausente, com exceção do perfil de 2011, que apresentava uma berma pouco robusta. A face de praia é côncava e pouco inclinada, com declive suave na zona intertidal e subtidal.

É de salientar que as alterações morfológicas ocorrem ao longo de todo o perfil de praia, afetando frequentemente a parte superior da berma, junto ao sopé da duna e também a própria vertente barlavento do cordão dunar. Estas variações estão associadas às influências do espraio, impossibilitando a formação de dunas embrionárias durante os meses de inverno.

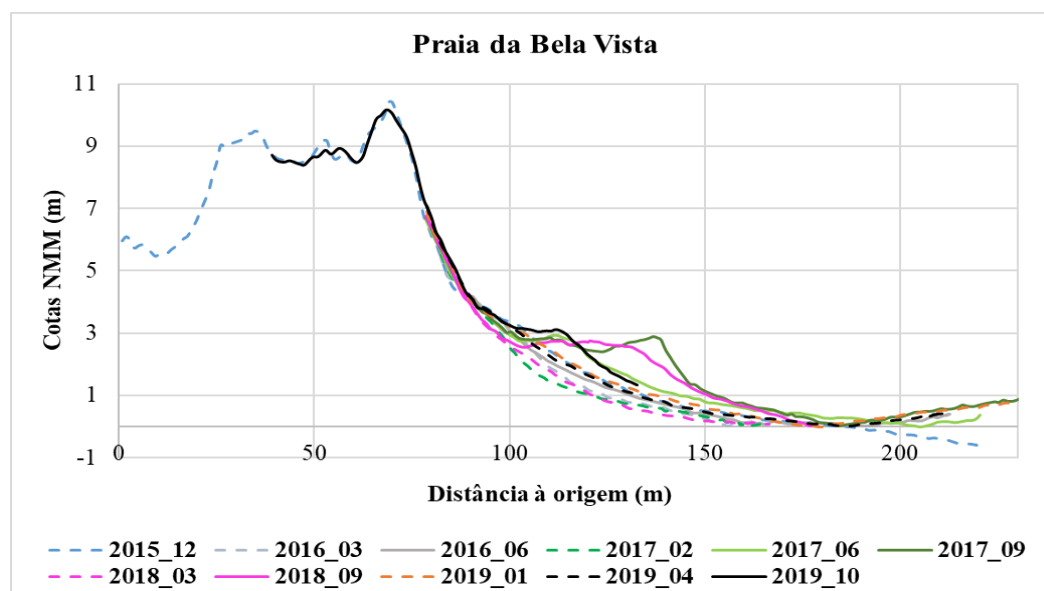
Também a frente da duna frontal apresenta um ligeiro recuo no sentido terra, possivelmente relacionado com a geração de escarpas em episódios de tempestade.



**Figura 5.38** - Perfis topográficos da praia da Rainha desde março de 2011 até outubro de 2019. A tracejado estão representados os perfis de inverno enquanto os perfis de verão estão apresentados por linhas contínuas.

Das praias analisadas, a da Bela Vista (PBV) é a que se encontra mais afastada do centro urbano da Costa da Caparica. Esta praia apresenta uma largura média de 50m com um cordão dunar mais robusto, cuja largura ronda os 65 m.

Nesta praia as variações a nível morfológico afetam sobretudo os segmentos com cotas menores de 4 m (NMM), pelo que se verifica uma estabilidade no restante troço do perfil, assim como na duna frontal (Figura 5.39).



**Figura 5.39** - Perfis topográficos da praia da Bela Vista desde março de 2015 até outubro de 2019. A tracejado estão representados os perfis de inverno enquanto os perfis de verão estão apresentados por linhas contínuas.

A variabilidade sazonal é também marcada pela variação de volume da praia emersa, tal como expresso no Anexo 10. Nos meses de inverno (identificados na tabela a laranja) o volume de praia é tendencialmente menor quando comparado com os meses de verão, nos quais ocorre recarga natural de sedimentos e incremento do volume deste sector do perfil.



Os gráficos seguintes (Figura 5.40 a Figura 5.43) representam a evolução no tempo do volume armazenado no sector subaéreo das praias analisadas. As observações foram divididas em duas séries: uma, representada a laranja, que se inicia em março de 2011 (bastante posterior aos enchimentos artificiais de 2007, 2008 e 2009) e que termina imediatamente antes da alimentação artificial das praias da frente urbana da Costa da Caparica, em 2014; outra, representada a azul, que marca a evolução da retenção sedimentar após esta segunda alimentação artificial (também na frente urbana da Caparica). O último ponto (isolado) nos gráficos, descreve o último levantamento, efetuado em outubro de 2019, cerca de um mês após a conclusão do terceiro enchimento artificial no mesmo sector de costa.

O aspeto “serreado” das linhas ilustra a variabilidade sazonal e o ajuste de uma reta de tendência (obtida por regressão linear aos dados de cada série), associa-se a um valor de declive, cujo sinal e magnitude exprime a existência (e intensidade) de tendência de erosão, caso este seja negativo, ou de progradação, se o valor for positivo.

O gráfico da praia da Saúde (Figura 5.40) apresenta diferenças nos períodos antes e após a alimentação artificial de 2014. Previamente ao enchimento das praias a norte (porém posteriormente à alimentação de 2007-2009), a praia da Saúde exibia uma tendência para aumento da retenção sedimentar, que se inverte praticamente um ano após a alimentação de 2014 (em outubro de 2015). O ajuste de uma regressão linear à totalidade dos dados mantém sinal negativo do declive.

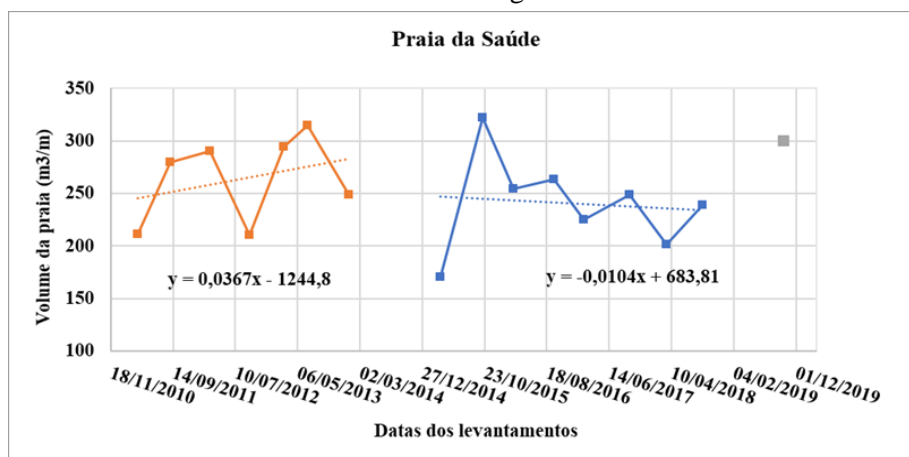


Figura 5.40 - Variação do volume da praia da Saúde ao longo do tempo.

Para sul na praia da Rainha, o comportamento do gráfico (Figura 5.41) é semelhante nos períodos antes e depois da alimentação artificial de 2014, isto é, ambos marcam tendência de erosão no sector. Em ambos os casos o declive é um número pequeno, variável (em valor absoluto) entre 0.01 e 0.04.

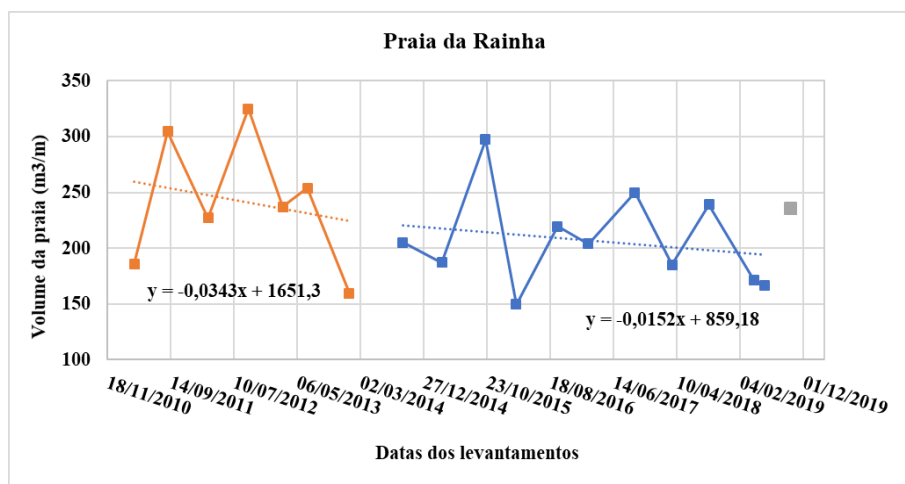
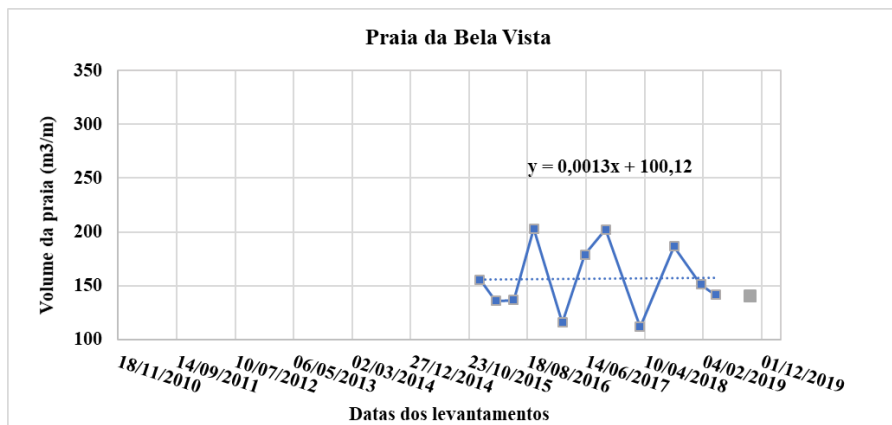


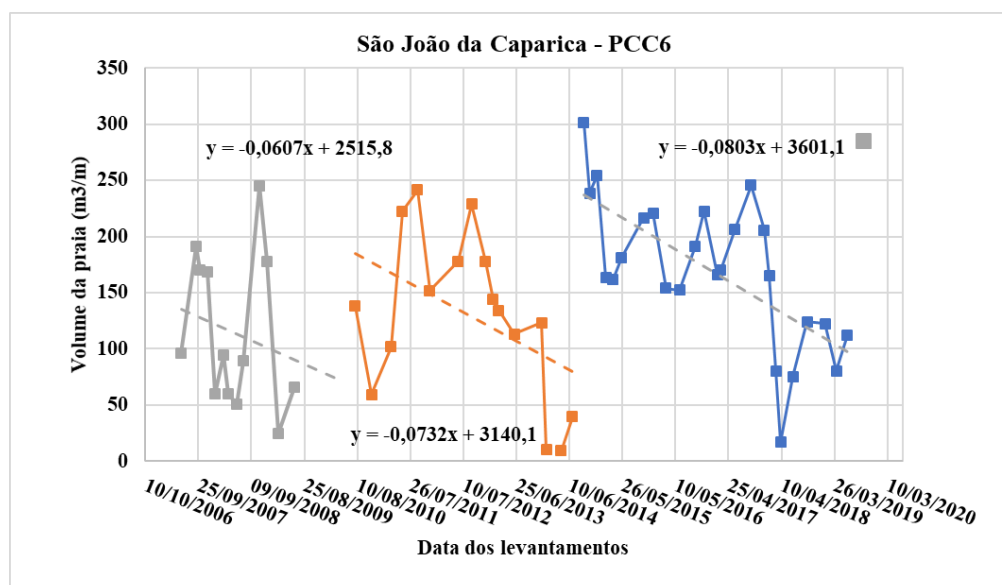
Figura 5.41 – Variação do volume da praia da Rainha ao longo do tempo.

Na praia da Bela Vista (Figura 5.42), apesar do intervalo de observações ser menor, verifica-se um comportamento distinto das praias anteriormente analisadas. Esta praia apresenta uma situação de estabilidade, expressa pela reta de tendência com declive praticamente nulo. É de salientar a posição do ponto figurativo do último volume determinado (ponto isolado), que expressa um volume bastante mais pequeno do que o expectável para um levantamento de verão.



**Figura 5.42** – Variação da praia da Bela Vista ao longo do tempo.

Os resultados acima foram ainda comparados com outros (equivalentes), obtidos na praia de São João da Caparica e resultantes de dados de campo obtidos quer através do Projeto CISML, quer de monitorização efetuada em projetos de colaboração entre o Departamento de Geologia da FCUL e o município de Almada (DIACS) (Figura 5.43). Estes dados reportam-se a perfis levantados em 3 períodos: antes e durante a alimentação das praias da frente urbana da Caparica em 2007, 2008 e 2009; entre 2010 até imediatamente antes da recarga artificial de 2014; e logo após a alimentação de 2014 até antes da recarga de setembro de 2019. O ponto isolado datado de 2019 representa o mais recente levantamento, obtido já depois desta última operação. Embora exista também variação dos padrões de variabilidade sazonal e da tendência de evolução em diferentes sectores desta praia, optou-se por representar aqui o perfil PCC6, cujo comportamento se considera característico da generalidade da praia de São João.



**Figura 5.43** - Representação gráfica da variação da retenção volumétrica no perfil PCC6 da praia de São João da Caparica entre junho de 2007 e outubro de 2019 (dados obtidos no projeto CISML e monitorização efetuada em projetos de colaboração entre o DIACS – Município de Almada e o Departamento de Geologia da FCUL).

Para além da variabilidade de escala temporal pequena, o aspeto mais relevante ilustrado na figura consiste na tendência de redução da retenção sedimentar que se estabelece após 2009 e 2014, como seria de esperar numa praia caracterizada por recuo acentuado e persistente há mais de meio século. Neste caso, o declive obtido para a reta de regressão é cerca de 8 vezes superior ao determinado para período homólogo (pós 2014) na praia da Bela Vista e 5 vezes superior ao valor na praia da Rainha. Em período anterior (2009 – 2014) São João exibe intensidade da tendência erosiva duas vezes superior à da praia da Rainha.

O troço costeiro da praia da Rainha sempre foi considerado um sector em acreção ou relativamente estável (Freire, 1989; Silveira *et al.*, 2013). Porém, os resultados acima sugerem que este sector possa ter iniciado no passado recente uma tendência para erosão, embora de intensidade muito reduzida e que essa tendência pode ter afetado também o segmento da praia da Saúde, a norte, embora não tenha expressão mais a sul, na Bela Vista.

Não sendo objetivo deste trabalho investigar as condições de estabilidade, erosão ou progradação das praias do arco costeiro Caparica - Espichel, considera-se que estas observações são congruentes com a variabilidade morfodinâmica dos perfis de praia e com a organização geomorfológica do cordão dunar que limita as praias da zona de estudo, bem como com o estado de conservação das dunas (descritas anteriormente) e ainda com a maior ou menor facilidade com que o sistema praia-duna pode recuperar de uma perturbação ocasional imposta por causas naturais ou antrópicas.

De facto, a influência frequente do espraio sobre a alta praia e sopé da duna e a criação de escarpas no corpo dunar frontal, associadas à tendência de recuo, mesmo que de reduzida intensidade, certamente prejudicam ou inibem o desenvolvimento de dunas embrionárias e o seu crescimento, contribuindo também para a degradação da duna frontal se a erosão crescer em intensidade para além do pisoteio constante que ocorre nesta região.

Na região sul da área de estudo, a tendência erosiva deixa de ser evidente e é nessa mesma região que se observa melhoria no desenvolvimento das dunas e do seu estado de conservação. A presença de dunas embrionárias passa a ser mais frequente os sinais de degradação limitam-se ao efeito do pisoteio por parte de veraneantes e veículos, principalmente na época estival, mas restritos aos acessos à praia.

Para resultados mais conclusivos será necessário manter a monitorização morfológica das praias oceânicas do concelho de Almada (eventualmente densificando os perfis de controle) para que seja criada uma série suficientemente longa e contínua, capaz de indicar se o processo erosivo que caracteriza desde há muito as praias da frente urbana da Caparica está de facto em expansão para sul e a que ritmo (o que implica problemas suplementares para a conservação de sectores de duna ainda pouco degradados), ou se os resultados aqui obtidos representam apenas variação morfodinâmica de escala multianual, implicando que as erosões agora reportadas serão reversíveis e que o sistema dunar recuperará naturalmente, na ausência de incremento da pressão antrópica.

## Conclusões e recomendações

A região da Costa da Caparica apresenta dinâmicas naturais fortemente influenciadas pelo Oceano Atlântico, que se traduzem em problemáticas relacionadas com a erosão local e a sua propensão para os galgamentos oceânicos. Para além desta questão preocupante, também a falta de ordenamento do território tem vindo a arrastar-se por décadas.

O aumento da população residente e visitante levou à artificialização da planície costeira da Costa da Caparica com expansão das zonas edificadas para habitação e turismo (legais e clandestinas), assim como a construção de parques de campismo, apoios e equipamentos de praia, em áreas protegidas ou em locais com perigosidade associada. Ao longo dos anos, verificaram-se alterações nas condições ecológicas e geomorfológicas com a artificialização e florestação dos sistemas dunares, principalmente nos anos 50 e 60, do séc. XX. Estas alterações contribuíram para a degradação do ecossistema costeiro, incluindo o sistema dunar.

O campo dunar ativo em 1942 era muito extenso e diminuía de expressão espacial para sul devido à diminuição da largura da planície costeira da Costa da Caparica. Este campo dunar, caracterizado por abundância sedimentar, compreendia um cordão dunar frontal, com desenvolvimento transversal aos ventos eficazes (do quadrante oeste) que, para nascente, dava lugar a um campo de dunas móvel interior, com dunas transgressivas e parabólicas. Estas últimas marcadas por corpos dunares longitudinais com orientação E-W e ESE-WNW também alinhados com os ventos eficazes. Na generalidade da planície costeira as dunas apresentavam-se pouco vegetadas permitindo mobilização das areias para o interior, capazes de alcançar os campos agrícolas que, por sua vez, foram instalados sobre substrato arenoso que compõe a totalidade da planície costeira. A ocupação agrícola da região mais interna desta planície perturbou significativamente a morfologia original.

As fotografias aéreas de 1980 mostram mudanças muito significativas da ocupação do solo, como a vegetação introduzida com o objetivo de fixar as dunas, especialmente no espaço compreendido entre a estrada florestal e o cordão dunar frontal. A configuração do espaço costeiro foi também alterada, passando a ser constituído essencialmente por um cordão dunar frontal paralelo à linha de costa, que confina com o domínio interior vegetado, dentro do qual ainda se reconhecem alguns relevos lineares correspondentes a braços de antigas dunas parabólicas e cristas de dunas transgressivas. A configuração atual do espaço costeiro apresenta uma configuração semelhante à existente em 1980, existindo atualmente uma área de dunas ativa na ordem dos 0.57 km<sup>2</sup>.

No que respeita ao domínio mais específico do cordão dunar frontal, caracterizou-se o seu estado de conservação/degradação, utilizando critérios geomorfológicos e relacionados com a densidade e diversidade do coberto vegetal. Os resultados indicam o troço mais a norte, compreendido entre a Nova Praia e a praia da Mata, como o que apresenta degradação mais acentuada. Neste troço, localizado imediatamente a sul do centro urbano da Costa da Caparica e compreendendo a frente de mar adjacente aos parques de campismo, as dunas apresentavam menos de 20% de vegetação, em 2008 e esta diminuta taxa de cobertura manteve-se até 2018. A morfologia é caracterizada por dunas baixas, dispersas, com perfil suavizado, sem cristas definidas e sem continuidade lateral, que determinaram o pior estado de conservação. A abundância de espécies invasoras como o chorão da praia e a fraca presença ou ausência de espécies como o feno-das-areias e o estorno, conhecidas como espécies pioneiras na colonização das dunas costeiras, constituem também um indicador de degradação das dunas neste troço.

Para sul, com o afastamento do centro urbano, a pressão urbana diminui, constatando-se uma melhoria no estado de conservação do cordão dunar frontal, traduzido por aumento da percentagem do coberto vegetal, assim como por melhoria das suas características morfológicas (como o aumento da continuidade lateral, melhor definição das cristas e menor número de corredores de deflação). O

decréscimo de espécies exóticas e o aumento da quantidade e diversidade de espécies naturais colonizadoras do cordão dunar frontal (espécies tipo III) contribuem também para o melhoramento do estado de conservação. No sector imediatamente a norte da Fonte da Telha, o sistema praia-duna exibia uma duna frontal praticamente contínua, com cristas tendencialmente bem definidas. Os corredores de deflação tendencialmente diminuía neste sector, assim como a sua dimensão.

Na última década ocorreram melhorias no estado de conservação do cordão dunar frontal, uma vez que a quantidade de coberto vegetal também aumentou para valores superiores a 50%, incluindo espécies não introduzidas/invasoras, o que mostra resiliência e capacidade de regeneração natural do sistema dunar adjacente à praia.

Para além das transformações naturais, o litoral em estudo contém exemplos de intervenções artificiais visando a recuperação e preservação da duna frontal, nomeadamente nas praias de São João da Caparica e da Mata, tendo a segunda sido objeto de avaliação quanto ao seu desempenho.

As intervenções efetuadas na duna sul da praia da Mata (em 2012 e 2015) incluíram a interposição de barreiras ao atravessamento (pedonal e por veículos) da duna frontal; a colocação de paliçadas de retenção de areia eólica e a plantação de espécies colonizadoras autóctones, que poderão servir de exemplo para intervenções semelhantes a concretizar no litoral a sul do centro urbano da Costa da Caparica. Verificou-se uma tendência de acumulação entre 2008 e 2019 na generalidade desta duna, embora mais expressiva na região intervencionada com vegetação e paliçadas. Esta tendência afetou assim, sobretudo, a fachada externa do cordão dunar, onde as ações diretas dos ventos levaram à captura de areias de praia pelas retenções (natural – vegetação e artificial - paliçadas. Para o interior, a duna apresentou ainda acumulação, embora de magnitude inferior, devido ao facto de estar mais abrigada dos ventos de mar.

A eficácia desta intervenção está bem ilustrada pelo soterramento das paliçadas (que nunca foram reparadas ou levantadas desde a sua instalação). Os resultados da quantificação destas modificações indicam um aumento de volume global superior a 16 500 m<sup>3</sup> na totalidade duna, entre 2008 e 2019 e, na área intervencionada (que representa 27% da superfície total), esse aumento foi de 6100 m<sup>3</sup>, indicando que a taxa de acumulação anual por unidade de superfície foi 1.3 vezes superior na área intervencionada. As intervenções do mesmo tipo concretizadas na praia de São João da Caparica indicam níveis de desempenho semelhantes, quando a variação volumétrica se reporta à totalidade da duna, e valores superiores quando referidas unicamente à fiada de retenções eólicas imediatamente adjacentes à praia.

De todas as praias incluídas neste estudo, a praia da Rainha é a que apresenta um modelo de ordenamento do espaço dunar mais apropriado. Ao contrário do que ocorre noutras praias do mesmo troço, esta praia tem um volumoso equipamento instalado na duna secundária, para terra do caminho de ferro e contíguo ao parque de estacionamento. As dunas encontram-se delimitadas por cordões de barramento ao atravessamento indiscriminado e estão devidamente sinalizadas por painéis informativos, que sensibilizam os utentes para a sua proteção; merece ainda referência a existência de um único acesso principal à praia, que a liga ao parque de estacionamento através de um passadiço pedonal.

O estudo da variabilidade sazonal de praias no troço em análise, sugere que nos meses de inverno, quando a agitação marítima é mais intensa, existe mobilização da totalidade do perfil da praia, que adota uma configuração mais dissipativa. O espraio das ondas afeta a berma alta, incluindo o local de encosto da berma à duna frontal e, nalguns casos, atua mesmo na vertente barlavento daquela duna, escarpando-a. Nos meses de verão a alta praia recupera uma configuração mais refletiva e a região superior do perfil recupera parcial ou totalmente as perdas de areia. Este tipo de morfodinâmica, que opera a escalas temporais pequenas, não favorece a progradação da duna sobre a berma da praia, o que pode ter

implicações no desempenho de intervenções de restauro dunar. Apenas na praia da Bela Vista a variação morfodinâmica sazonal do perfil de praia exclui a berma alta e a duna.

Finalmente, detetou-se uma tendência, ainda que de pequena magnitude, para diminuição do volume das praias estudadas nos últimos 10 anos, com a única exceção da praia da Bela Vista.

Este resultado, que merece estudo mais aprofundado, pode indicar apenas variabilidade de escala temporal plurianual e representar uma evolução reversível ou, pelo contrário, indicar propagação recente para sul da Costa da Caparica da tendência erosiva que afeta desde há muitas décadas e com intensidade muito superior, as praias a norte daquela localidade.

Pode assim inferir-se que o estado de degradação das dunas na região entre a praia da Saúde e da Rainha poderá estar relacionado também com esta tendência erosiva a qual, em conjunto com a variabilidade morfodinâmica sazonal impedem o desenvolvimento de dunas embrionárias e a regeneração da duna frontal, uma vez perturbada por causas naturais ou antrópicas.

Ao longo da área em estudo, importa defender a duna primária, por ser uma zona mais vulnerável ao pisoteio e com maior exposição ao vento e ao mar, principalmente nos locais que apresentem menor percentagem de área coberta pela vegetação e que se encontrem junto aos acessos principais das praias.

A norte, o segmento adjacente aos parques de campismo, para além de ser um troço com forte ocupação antrópica, apresenta dunas extremamente degradadas e desprovidas de vegetação. É importante requalificar e restaurar as dunas neste segmento, independentemente da realocização dos parques de campismo. O espaço de requalificação não é extenso e pode ser objeto de algumas medidas de proteção e restauro que não envolvem investimento significativo.

Esta região é apontada como prioritária para a recuperação e manutenção dunar, com o objetivo de diminuir o risco de galgamentos oceânicos, com impactos sobre o parque de campismo semelhantes aos ocorridos na Praia de São João da Caparica. Na ausência de intervenção, os corpos dunares remanescentes continuarão a ser alvo de degradação por parte da pressão antrópica constante e generalizada.

Nos locais indicados acima devem ser efetuadas intervenções que protejam e promovam o crescimento da vegetação natural, porque impossibilitam ou desencorajam o atravessamento desordenado dos corpos dunares. Tal pode ser conseguido através da colocação de vedação periférica às dunas e a construção de passadiços sobrelevados, condicionando os acessos às praias a locais previamente identificados. É de salientar a importância da colocação de painéis informativos, pois sem a presença destes aumenta a probabilidade de os utentes não cumprirem as limitações. As espécies invasoras, como o chorão, devem ser removidas para dar lugar à colonização por plantas naturais estabilizadoras e construtoras das dunas. A colocação de armadilhas de areia (do tipo das paliçadas) e a plantação de espécies como o estorno e o feno-das-areias devem ser implementadas para incrementar a estabilização ou mesmo acelerar o crescimento da duna.

Estas recomendações e soluções são razoavelmente económicas e promovem a recuperação da duna, mesmo que parcial, a curto e médio prazo. Outras medidas, substancialmente mais dispendiosas terão necessariamente de ser adotadas, se as questões de gestão do risco costeiro e da preservação ambiental forem consideradas com a importância que merecem. Estas medidas traduzem-se no recuo/relocalização de alguns equipamentos e apoios de praia que se encontram hoje instalados sobre a duna primária ou alta praia; no último caso a sua presença interfere com o vento, inibindo ou dificultando o transporte areia da praia para as dunas. A realocização do caminho de ferro e, principalmente, dos parques de campismo, são também medidas necessárias, pese embora envolverem tempos de execução e investimentos significativamente superiores.

## Referências bibliográficas

- Abecassis F (1987) O regime aluvionar da costa portuguesa entre Peniche e a Foz do Mira. *Ingenium*, Revista da Ordem dos Engenheiros, 2 (11), Lisboa. 4-17 pp.
- APA (2014). Registo das ocorrências no litoral, temporal de 3 a 7 de janeiro de 2014. Relatório técnico. Agência Portuguesa do Ambiente. 123 p.
- APA (2018). Alimentação artificial de praias na faixa costeira de Portugal continental: Enquadramento e retrospectiva das intervenções realizada (1950-2017). Relatório Técnico. Agência Portuguesa do Ambiente. 66 p.
- Almeida, A. C. (1998). Dunas Costeiras em Portugal: da Indiferença ao Protagonismo. *In: Dunas da Zona Costeira de Portugal*. Associação Eurocoast-Portugal. Porto: 43-48 pp.
- Almeida, A. C. (2001). A floresta nas dunas – achegas para a sua gestão. SPCF, *4º Congresso Florestal Nacional*. Évora. 303-308 pp.
- Alveirinho-Dias, J.M. (1993). *Estudo de avaliação da situação ambiental e proposta de medidas de salvaguarda para a faixa costeira portuguesa (Geologia Costeira)*. Liga para a Proteção da Natureza, Ministério do Ambiente. 137 p.
- Andrade, C. F. (1998). *Dinâmica, Erosão e Conservação das Zonas de Praia*. Lisboa: Comissariado da Exposição Mundial de Lisboa de 1998. 86 p.
- Andrade, C., Oliveira, H. P., Silva, P., Taborda, R., Freitas, M. C. (2006). Zonas Costeiras *In: Santos, F D e Miranda P. Alterações climáticas em Portugal. Cenários, impactos e medidas de adaptação*. Projeto SIAM II. Gradiva, (4): 169-208 pp.
- Azeredo, A., Carvalho, A.M.G. (1986). Novos elementos sobre o “Paleogénico” carbonatado dos arredores de Lisboa. Comissão dos. Serviços Geológicos. Portugal, Lisboa, 72 (1-2), 111-118 pp. *In: Pais, J., Moniz, C., Cabral, J., Cardoso, J. L., Legoinha, P., Machado S., Morais, M. A., Lourenço, C., Ribeiro, M. L., Henriques, P., Falé, P. (2006). Notícia Explicativa da Folha 34-D Lisboa da Carta Geológica de Portugal à escala de 1:50.000. Departamento de Geologia, Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação. 75 p.*
- Barata, A., Cabaço, J.G. & Silva, M.L. (2013). Entregável 1.1.1.a. Estudo no litoral na área de intervenção da APA, I.P. /ARH do Tejo: Caracterização do regime de ventos do litoral. Relatório Técnico, Projeto Criação e implementação de um sistema de monitorização no litoral abrangido pela área de jurisdição da Administração da Região Hidrográfica do Tejo. FFCUL/APA, I.P. Lisboa. 15 p.
- Barceló, J. (1971) Experimental Study of the Hydraulic Behaviour of Inclined Groyne Systems. LNEC, Ministério das Obras Públicas, Lisboa. 36 p.
- Bird, E. C. F. (2001). *Coastal Geomorphology. An Introduction*. John Wiley & Sons, LTD. 322 p.
- Bird, E. C. F. (1990). Classification of European dune coasts. *In* Seoane, C.L.V., Fernández, J.B.G., Pascual, C.V. (2007). *Manual de restauración de dunas Costeras*. Espanha: Ministerio del Medio Ambiente, Dirección General de Costas. 256 p.
- Blott, S.J. e Pye, K. (2001). GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Processes and Landforms* 26, 1237-1248 pp.
- Branco, M., Lehugeur, L., Campos, J. (2003). Proposta de Classificação para as Feições Eólicas do Sector Leste da Região Metropolitana de Fortaleza – Ceará – Brasil. UNESP. São Paulo. *Geociências*. 22(2): 163-174 pp.

- Bush, G. P. (2004). *Coastal Dunes. The Dune protection and Improvement Manual for the Texas Gulf Coast*. Texas General Land Office. 5<sup>th</sup> edition. 32 p.
- Carter, R. W. G. (1988). *Coastal environments: An introduction to the physical, ecological and cultural systems of coastlines*. Academic Press. Londres. 617 p.
- Carter R.G.W., (1991). Near-future sea level impacts on coastal dune landscapes. *Landscape Ecology*, Special Issue Impact of climate change on coastal dune landscape of Europe, 6 (1-2): 7-13 pp.
- CMA (2007). Almada na História, Boletim de Fontes Documentais. Divisão de História Local e Arquivo Histórico. 11-12 pp.
- Costa, J. C. (2001). Tipos de Vegetação e Adaptações das Plantas do Litoral de Portugal Continental. In: Albergaria Moreira, M. E., A. Casal Moura, H. M. Granja & F. Noronha (Ed), *Homenagem (in honorium) Professor Doutor Soares de Carvalho*. Universidade do Minho. Braga: 283-299 pp.
- Coelho, A. L. N; Goulart, A. C. O., Bergamashi, R. B., Junior, F. J. T. (2012). Mapeamento Geomorfológico do Estado do Espírito Santo. Nota Técnica. Governo do Estado do Espírito Santo. Instituto Jones dos Santos Neves. 21 p.
- Costa, A. (2007). *Trafaria e Costa da Caparica: dados sobre os núcleos urbanos e faixa atlântica*. ed. Câmara Municipal de Almada – Museu da Cidade.
- Davies, R., FitzGerald, D., (2004). *Beaches and Coasts*. UK: Blackwell Publishing, Malden. 419 p.
- Dias, M.H.P. (1953) Contribuição para o Estudo Fitossociológico das Dunas e Mata da Costa da Caparica, Relatório Final do Curso de Engenheiro Silvicultor, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia. 107 p.
- Diogo, Z.S., Silveira, T.M., Sousa, H., Carapuço, A.M., Silva, A.N., Lira, C., Taborda, R. & Andrade, C.F. (2013). Entregável 2.2.c. Caracterização da variabilidade morfodinâmica sazonal e pós-temporal das praias da Costa da Caparica. Relatório Técnico, Projeto Criação e implementação de um sistema de monitorização no litoral abrangido pela área de jurisdição da Administração da Região Hidrográfica do Tejo. FFCUL/APA, I.P. Lisboa. 119 p.
- Duarte Santos, F., Mota Lopes, A., Moniz, G., Ramos, L., Taborda, R. (2014). *Gestão da Zona Costeira: O Desafio da Mudança* – Relatório do Grupo do Litoral. Lisboa, Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia. 237 p.
- EEA (2006). The changing faces of Europe's coastal areas. EEA Report No 6/2006. European Environment Agency (EEA) and Office for Official Publications of the European Communities (OPOCE). Copenhagen. 107 p.
- FCUL/CG, & CMA/DEGAS. (2012). Impacte das Alterações Climáticas na Faixa Costeira Estuarina e Atlântica e nos Recursos Hídricos Subterrâneos do Concelho de Almada do Concelho de Almada. Centro de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa e Departamento de Estratégia e Gestão Ambiental Sustentável da Câmara Municipal de Almada. 172 p.
- Ferraz, M., (2007). Identificação e Caracterização das Dunas e Campos Dunares da Parte Norte da Península de Tróia. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. 167 p. (Não publicada).
- Ferreira J.C., Laranjeira M.M. (2000). Avaliação da vulnerabilidade e risco biofísico em áreas litorais sob pressão antrópica. Contributo metodológico para uma gestão ambiental. *GeoInova*, 2: 153-170 pp.
- Flores, A. (2009). *Vila e Termo de Almada nas Memórias Paroquiais de 1759*. Almada.



- Freitas, C., Ataíde, D.; Rodrigues, E., Estevens, M., Castro, M., Lopes, N., Silva, P., Dionísio, S., Sousa, C., Cleto, J., Machado e Remédios, S. (2011). Revisão do Plano Director Municipal de Almada – Estudos de Caracterização do Território Municipal. DEGAS/AGENEAL. Câmara Municipal de Almada. 146 p.
- Freitas, J. I. R. G. (2010). O litoral português na época contemporânea: representações, práticas e consequências. Os casos de Espinho e do Algarve (c.1851 a c.1990). Dissertação de Doutoramento em História Contemporânea. Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa. 421 p.
- Freire, M.E.F. (1989). A Planície litoral entre a Trafaria e a Lagoa de Albufeira- estudo de geomorfologia litoral. Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Letras de Lisboa. Coleção Estudos, 3, Serviço nacional de parques, reservas e Conservação da natureza. Lisboa, 204 p.
- Folk, R.L. & Ward, W.C. (1957). Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Research*. 27(1): 3-26 pp.
- Galopim de Carvalho, A.M. (2005). *Geologia Sedimentar*. Volume II - Sedimentologia. Âncora Editora, Lisboa.
- García-Mora, M. R., Gallego-Fernández, J. B., & Garcia-Novo, F. (1999). Plant Functional Types In: Coastal Foredunes in Relation to Environmental Stress and Disturbance. *Journal of Vegetation Science*. 10: 27-34 pp.
- García-Mora, M. R., Gallego-Fernández, J. B., & Garcia-Novo, F. (2000). Plant Diversity as a Suitable Tool for Coastal Dune Vulnerability Assessment. *Journal of Coastal Research*, 16(4), 990-995 pp.
- García-Mora, M. R., Gallego-Fernández, J. B., Williams, A. T., García-Novo, F. (2001). A Coastal Dune Vulnerability Classification. A Case Study of the SW Iberian Peninsula. *Journal of Coastal Research*. 14 (4), 802-811 pp.
- Gomes, P.T., Botelho, A.C., Gaspar, S.C. (2002). *Sistemas dunares do litoral de Esposende*. Universidade do Minho. 75 p.
- Hesp, P. (1988). Morphology, dynamics and internal stratification of some established foredunes in southeast Australia. In: P. Hesp and S.G. Fryberger (Editors), Eolian Sediments. *Sediment. Geol.*, 55: 17-41 pp.
- Hesp, P. A. (1991). Ecological Processes and Plant Adaptations on Coastal Dunes. *Journal of Arid Environment*. 21 (2):165-191 pp.
- Hesp, P. A. (2002). Foredunes and Blowouts: Initiation, Geomorphology and Dynamics. *Geomorphology*. 48 (1-3): 245-268 pp.
- Hill, L.L. (2006). *Georeferencing. The Geographic Associations of Information*. Digital Libraries and Electronic Publishing. The MIT Press. 280 p.
- INCB (2000). Dunas móveis do cordão dunar com *Ammophila arenaria* (“dunas brancas”). Plano Sectorial da Rede Natura, Habitats Naturais. 2120. 4 p.
- Lamas P. C., (1998). Os taludes da margem sul do Tejo. Evolução geomorfológica e os mecanismos de rotura. Dissertação para obtenção do grau de Doutor em Geotecnia (Geologia de Engenharia), Universidade Nova de Lisboa. 379 p.
- Laranjeira, M. (1997). Vulnerabilidade e Gestão dos Sistemas Dunares. O Caso das Dunas de Mira. Dissertação de Mestrado em Ordenamento do Território e Planeamento Ambiental. Universidade Nova de Lisboa. 199 p.

- Ley, C., Gallego-Fernández, J. B., Vidal, C. (2007). *Manual de Restauración de Dunas Costeras*. Ministério do Ambiente. Santander. Espanha. 251 p.
- Martins, P. (2013). A caminho de um novo paradigma de praia: a Costa da Caparica nos anos 1920-1970. Faculdade Ciências Sociais Humanas. 14 p.
- McKee, E. (1979). An introduction to the study of global sand seas. In *A Study of Global Sand Seas*, E. McKee, ed., Washington, U. S. *Geological Survey Paper* 1052, 1- 20 pp.
- McKee, E. D. (2004). *A Study of Global Sand Seas*. University Press of the Pacific. 440 p.
- Moore, L. (2000) Shoreline Mapping Techniques. *Journal of Coastal Research*. 16 (1) 111-124 pp.
- Namboothri, N., Subramanian, D., Muthuraman, B., Sridhar, A., Rodriguez, S., Shanker, K. (2008). *Beyond the Tsunami: Coastal Sand Dunes of Tamil Nadu, India – An Overview*. UNDP/UNTRS. Chennai and ATREE. Bangalore. India. 56 p.
- Neves, M. S. (2008). *Costa da Caparica: no areal do tempo*. Costa da Caparica.
- Nordstrom, K.F. (2000). *Beach and Dunes of Development Coasts*. Cambridge University Press, UK. 338 p.
- O’Connell, J. (2008). *Coastal Dune Protection & Restoration. Using “Cape” American beachgrass & Fencing*. Marine Extension Bulletin Woods Hole Sea Grant & Cape Cod Cooperative Extension. 20 p.
- Pais, J. (1992). Paisagem Protegida da Arriba Fóssil da Costa da Caparica. *Liberne – Boletim da Liga para a Protecção da Natureza* Nº42. 5-9 pp.
- Pais, J., Moniz, C., Cabral, J., Cardoso, J. L., Legoinha, P., Machado S., Morais, M. A., Lourenço, C., Ribeiro, M. L., Henriques, P., Falé, P. (2006). Notícia Explicativa da Folha 34-D Lisboa da Carta Geológica de Portugal à escala de 1:50.000. Departamento de Geologia, Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação. 75 p.
- Pereira, J. C. (1937). O Temporal de Janeiro de 1937 na Costa de Portugal in *Revista Portuguesa de Geofísica: A Terra*. Instituto para a Alta Cultura, Coimbra.
- Pinto, C., Taborda, R., Andrade, C. (2007). Evolução recente da linha de costa no troço Cova do Vapor – S. João da Caparica. 5<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária, Lisboa. PIANC. AIPCN. Lisboa, 13 pp.
- Programa Polis (2001). Plano Estratégico do Polis da Costa da Caparica. Viver a Costa da Caparica. 76 p.
- Psuty, N.P. (2004). The coastal foredune: A morphological basis for regional coastal dune development. In Martínez, M.L. & Psuty, N.P (eds.), *Coastal dunes, Ecology and Conservation*. Springer. Berlin. 18 p.
- Ramalho, M.C. (1934). *Praia do Sol (Caparica): estância Balnear de cura, repouso e turismo*. Monografia de propaganda do Guia de Portugal Artístico. Lisboa. 28 p.
- Ramalho, M., Rey, J., Zbyszewski, G., Alves, A., Palácios, T., Almeida, F., Costa, C. & Kullberg, M. (2001). Carta Geológica de Portugal na Escala 1:50000 - Notícia Explicativa da Folha 34-C, Lisboa. Instituto Geológico e Mineiro. Lisboa.
- Ramos-Pereira, A. (2008) Sistemas litorais: dinâmicas e ordenamento. *Finisterra*, XLIII (86): 5-29 pp.
- Ramos-Pereira, A. (1988) Aspectos do relevo de Portugal. Litorais ocidental e meridional da Península de Setúbal. *Finisterra*, XXIII (46): 336-349 pp.

- Rato, D. (2017). Monitorização da duna de São João da Caparica. Dissertação do mestrado em Geologia do Ambiente, Riscos Geológicos e Ordenamento do Território. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. 122 p.
- Rato, D., Bastos, A., Andrade, C., Taborda, R., Freitas, M. C. (2019). Evolução morfológica da duna de São João da Caparica e potencial de transporte sólido eólico. Associação Portuguesa de Geólogos. *Geonovas*. 32 (1): 111-124 pp.
- Rocha, M. A. (2011). Estruturação de Áreas com Valor Ambiental e Paisagístico na AML. Caso de Estudo POLIS Costa da Caparica. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Arquitetura da Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa. 175 p.
- Seoane, C.L.V., Fernández, J.B.G., Pascual, C.V. (2007). *Manual de restauración de dunas Costeras*. Espanha: Ministerio del Medio Ambiente, Dirección General de Costas. 256 p.
- Short, A. D., Hesp, P.A. (1982). Wave, beaches and dune interactions in southeastern *Australia*. *Mar. Geol.*, 48 (3-4): 259-284 pp.
- Silva, A.P.F. (2000). Cartografia Geotécnica do Concelho de Almada e o Sistema de Informação Geo-Almada. Dissertação apresentada à Universidade Nova de Lisboa para obtenção do grau de Doutor em Geotecnia, na especialidade de Geologia de Engenharia. Vol. I. 326 p.
- Silva, P., Pinho, P., Correia, A. I., Branquinho, C., Correia, O. (2004). Estudo de Indicadores de Vulnerabilidade de Sistemas Dunares: Um Contributo para a Gestão Integrada de Zonas Costeiras. Actas da 8ª Conferência Nacional do Ambiente. 11 p.
- Silva, P. P. (2012). Projeto-piloto de recuperação do sistema dunar da Praia da Mata. Projetos de restauração ecológica de sistemas dunares. Câmara Municipal de Almada. 19 p.
- Silveira, T.M., Guimarães, H., Sousa, H., Taborda, R. & Andrade, C.F. (2013). Entregável 2.1.a Rede de pontos de apoio da Costa da Caparica. Relatório Técnico, Projeto Criação e implementação de um sistema de monitorização no litoral abrangido pela área de jurisdição da Administração da Região Hidrográfica do Tejo. FFCUL/APA, I.P. Lisboa. 36 p.
- Teixeira, S.; Pires, I (2017). A recuperação dunar como intervenção de protecção costeira. Exemplos de boas práticas no litoral do Sotavento do Algarve. Relatório da Agência Portuguesa do Ambiente – ARHAlgarve. 32 p.
- Teixeira, S. (1990). Dinâmica das Praias da Península de Setúbal (Portugal). Dissertação do Mestrado em Geologia Económica e Aplicada. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. Lisboa. 189 p.
- Veloso-Gomes, F., Pinto, F.T., (2003). Eurosion Case Study - Cova do Vapor. Costa da Caparica Portugal. 26 p.
- Veloso-Gomes, F., Taveira-Pinto, F., Pais-Barbosa, J., Costa, J. & Rodrigues, A. (2006). Estudo das Intervenções na Costa da Caparica. 1ªs Jornadas de Hidráulica Recursos Hídricos e Ambiente. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. 27-35 pp.
- Veloso-Gomes, F., Taveira-Pinto, F., Pais-Barbosa, J., Costa, J. e Rodrigues, A. (2007) As Obras de Defesa Costeira na Costa da Caparica. Na Crista das Ondas do Mar e da Comunicação Social. 2ª Jornadas de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 23-32 pp.
- Veloso-Gomes, F. (2009). A Situação na Costa da Caparica e o Estuário do Tejo. In ARH Tejo (2009). Os planos de Ordenamento da Orla Costeira–Balanços e Reflexões. *Tágides* (5):57-60 pp.

Williams, A. T., Alveirinho-Dias, J., Garcia-Novo, F., García-Mora, M. R., Curr, R., Pereira, A. (2001). Integrated Coastal Dune Management: Checklists. *Continental Shelf Research*. 21: 1937-1960 pp.

Zbyszewsky, G. (1963) – Carta Geológica dos Arredores de Lisboa na escala 1/50000. Notícia explicativa da folha 4. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, 93 p.

## Webgrafia

ArcGIS for Desktop. (2020). *Spline—Help*. Disponível em: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/spline.htm> [Acedido a 20 de fevereiro de 2019]

arqOUT.pt (2014). *Arquitectura Paisagista – Dunas*. [online] Disponível em: <http://arqout.blogspot.com/2014/05/dunas.html> [Acedido a 10 de junho de 2020]

cm-jornal.pt. (2019). *Destruíram o meu sonho de ter um bar na praia* [online] Disponível em: <https://www.cmjornal.pt/portugal/detalhe/destruiram-o-sonho-de-ter-um-bar-na-praia> [Acedido a 28 janeiro 2020]

Diário de Notícias (2007). *Expo'98 "roubou areia" das praias da Caparica*. [online] Disponível em: <https://www.dn.pt/arquivo/2007/expo98-roubou-areia-das-praias-da-caparica-651786.html> [Acedido a 20 janeiro 2020]

Diário de Notícias (2019). *Aconteceu em 1960 - Inaugurado o "comboiozinho da Costa"* [online] Disponível em: <https://www.dn.pt/edicao-do-dia/30-jun-2019/inaugurado-o-comboiozinho-da-costa-11060577.html> [Acedido a 20 novembro 2019]

Gallego Fernández, J. B., García-Mora, M. R., & Seoane, C. L.V. (2003). *Restauración de Ecosistemas Dunares Costeros. Capítulo VIII*. [online] Disponível em: <http://personal.us.es/galfer/publicaciones/restauracion%20dunas%20JB%20libro%202003.pdf> [Acedido a 10 de dezembro de 2019]

Granadeiro, R. (2004) *Costa Da Caparica - Urbanismos*. [online] Disponível em: <https://almada-virtual-museum.blogspot.com/2014/07/costa-da-caparica-urbanismos.html> [Acedido a 15 de março de 2010]

m-Almada.pt (2019). *Ambiente Natural e Biodiversidade*. [online] Disponível em: [http://www.m-almada.pt/portal/page/portal/AMBIENTE/AMB\\_NAT\\_BIO/?amb=0&ambiente\\_ambiente\\_bio=12781163&cboui=12781163](http://www.m-almada.pt/portal/page/portal/AMBIENTE/AMB_NAT_BIO/?amb=0&ambiente_ambiente_bio=12781163&cboui=12781163) [Acedido a 7 abril 2019].

NPS.gov. (2020). *Aeolian (Dunes) Landforms - Geology (U.S. National Park Service)*. [online] Disponível em: <https://www.nps.gov/subjects/geology/aeolian-landforms.htm>. [Acedido a 20 fevereiro 2020]

Transpraia.pt (2008). *Transpraia – Transportes Recreativos da Praia do Sol, Lda*. [online] Disponível em: <https://www.transpraia.pt/index.php?nav=historia> [Acedido a 14 abril 2019]

## **Legislação**

Decreto n.º 11335, Diário de Governo n.º 263/1925, Série I de 9 de dezembro de 1925. *Classifica como praias as povoações da Trafaria e Costa da Caparica.*

Decreto-lei n.º 37301, Diário de Governo n.º 27/1949 de 12 de fevereiro de 1949. *Criação da freguesia da Costa da Caparica.*

Decreto-Lei n.º 218/95, Diário da República n.º 197/1995, Série I-A de 26 de agosto de 1995. *Regula a circulação de veículos motorizados nas praias, dunas, falésias e reservas integrais.*

Decreto-Lei n.º 113/97, de 10 de maio de 1997 revogado pelo Decreto-lei n.º 159/2012, de 24 de julho. *Regula a elaboração e a implementação dos planos de ordenamento da orla costeira e estabelece o regime sancionatório aplicável às infrações praticadas na orla costeira, no que respeita ao acesso, circulação e permanência indevidos em zonas interditas e respetiva sinalização.*

Decreto-Lei n.º 124/2019, Diário da República n.º 164/2019, Série I de 28 de agosto de 2019. *Altera o regime jurídico da Reserva Ecológica Nacional*

Resolução de Conselho de Ministros n.º 178/2008, Diário da República n.º 228/2008, Série I de 24 de novembro de 2008. *Aprova o Plano de Ordenamento da Paisagem Protegida da Arriba Fóssil da Costa da Caparica.*

Resolução do Conselho de Ministros n.º 82/2009, Diário da República n.º 174/2009 de 8 de setembro de 2009. *Aprova a Estratégia Nacional para a Gestão Integrada da Zona Costeira.*

Lei n.º 19/2014 de 14 de abril de 2014. *Lei de Bases do Ambiente*

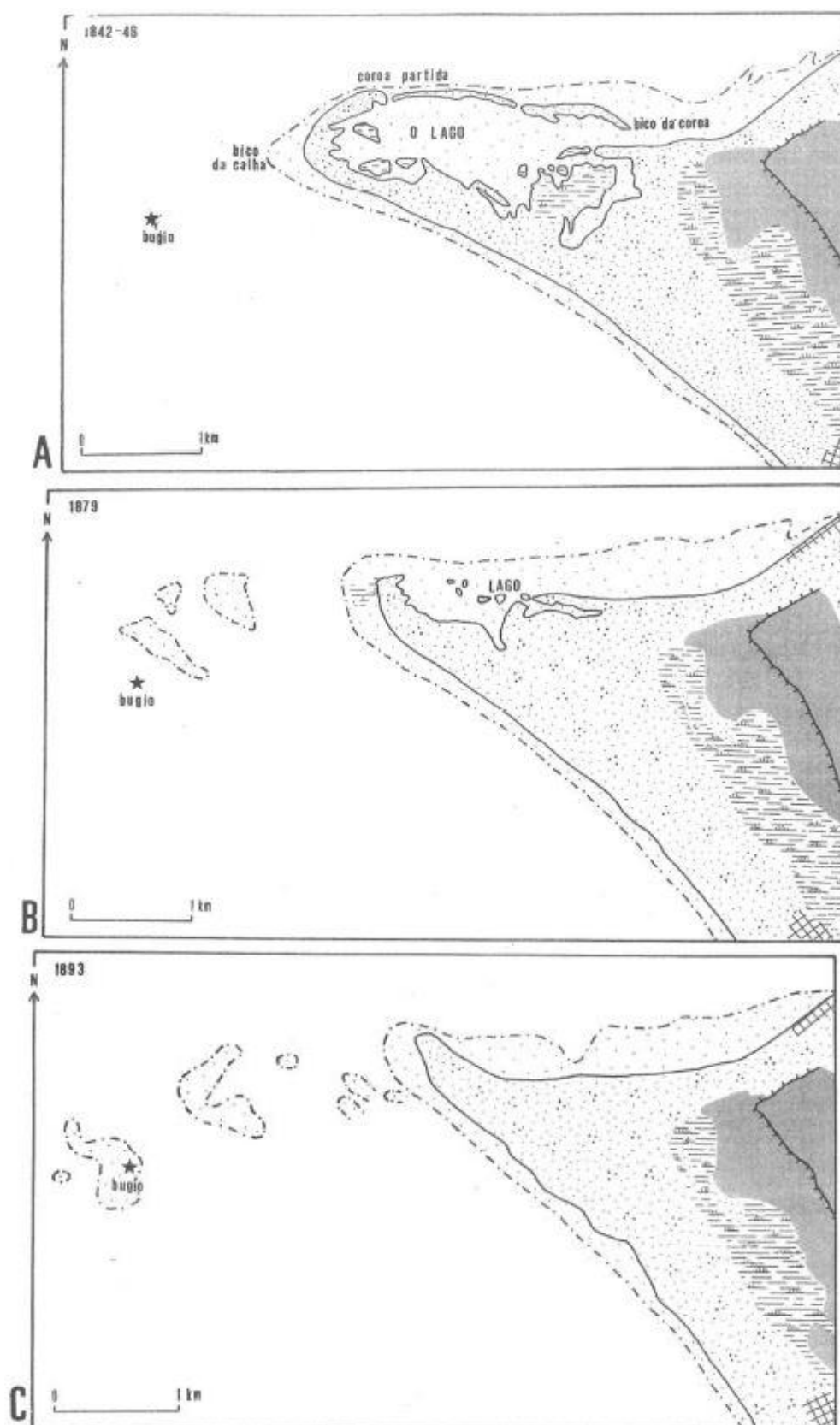
Lei n.º 31/2014, de 30 de maio de 2014. *Lei de bases gerais da política pública de solos, de ordenamento do território e de urbanismo.*

Resolução do Conselho de Ministros n.º 66/2019. Diário da República n.º 72/2019, Série I de 11 de abril de 2019. *Aprova o Programa da Orla Costeira de Alcobaça-Cabo Espichel.*

Decreto-lei n.º 92/2019, Diário da República n.º 130/2019, Série I de 10 de julho de 2019. *Controlo, detenção, introdução na natureza e ao repovoamento de espécies exóticas da flora e da fauna.*

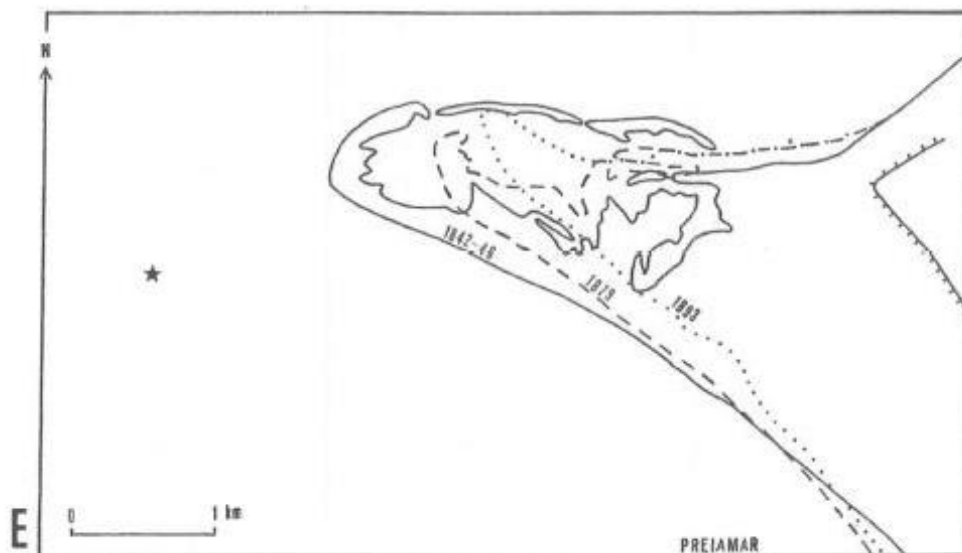
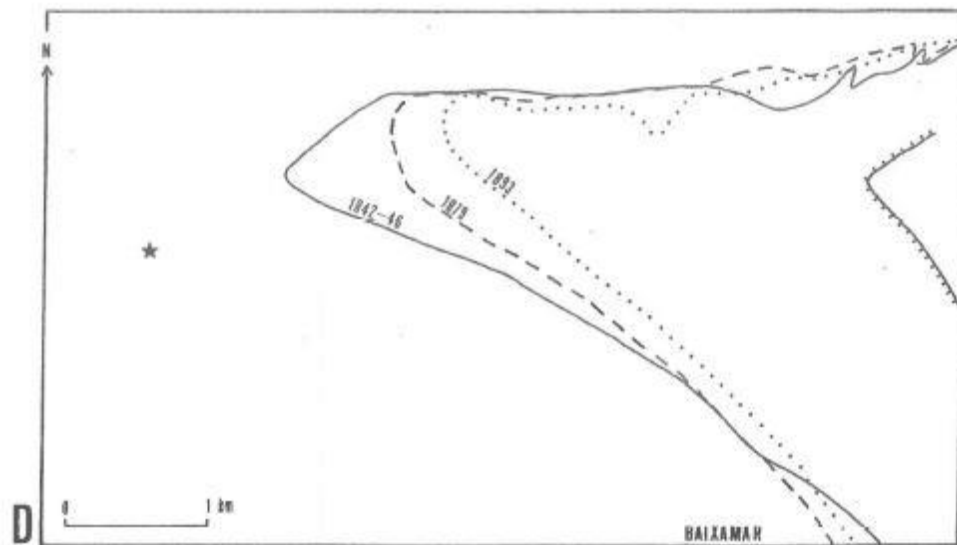
## Anexos

### Anexo 1. Evolução da faixa costeira segundo Freire (1989)



Anexo 1.1. - Planos hidrográficos da Barra do Porto de Lisboa A-1842 a 1845; B-1879; C-1893. Fonte: Freire, 1989.





Legenda de A, B e C:

- NIVEL DE BAIXAMAR
- NIVEL DE PREIAR
- ▲ ARRIBA FOSSIL
- ▨ AREAL COM DUNAS (a)
- ▨ PANTANO

- AREA CULTIVADA
- ▨ CASARIO

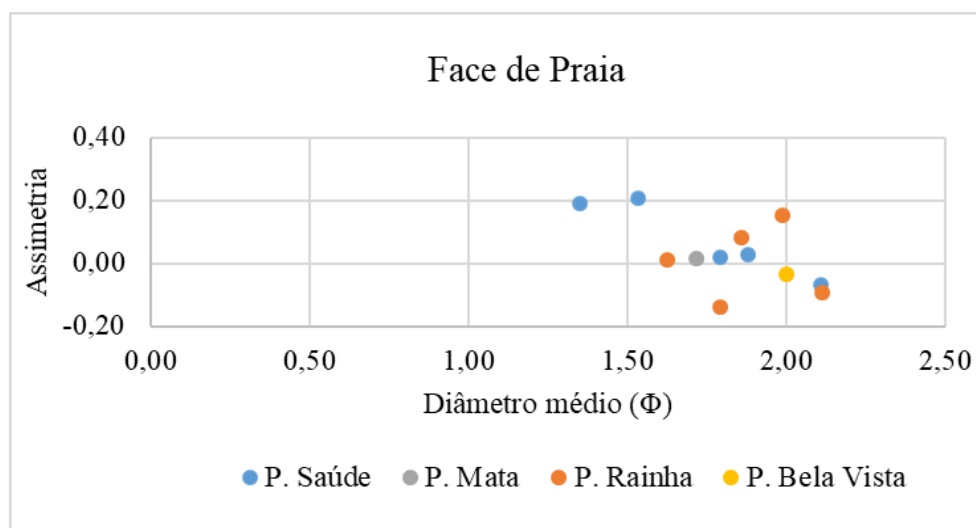
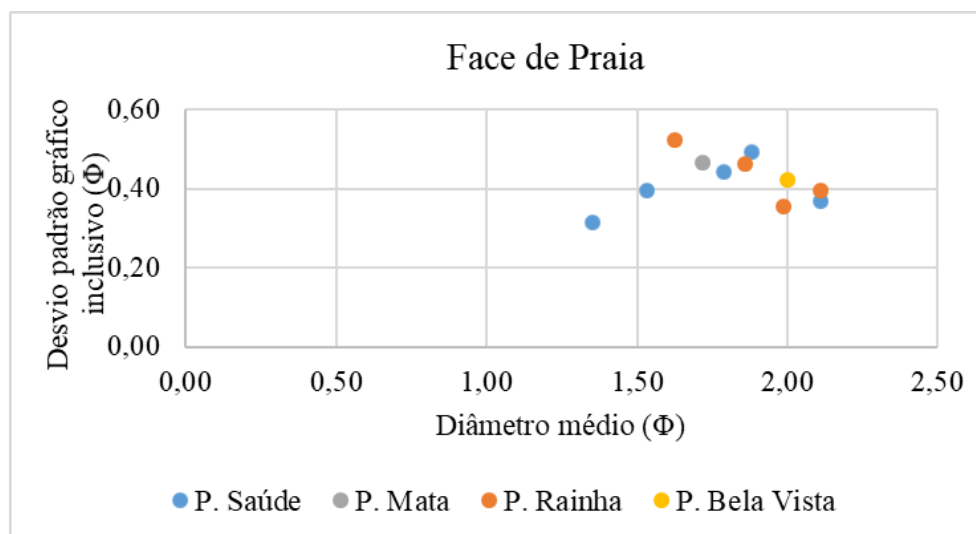
Anexo 1.2. - Planos hidrográficos da Barra do Porto de Lisboa. D e E – Evolução entre 1842 e 1893.  
Fonte: Freire, 1989.

## Anexo 2. Fatores ambientais e adaptação das plantas no sistema dunar

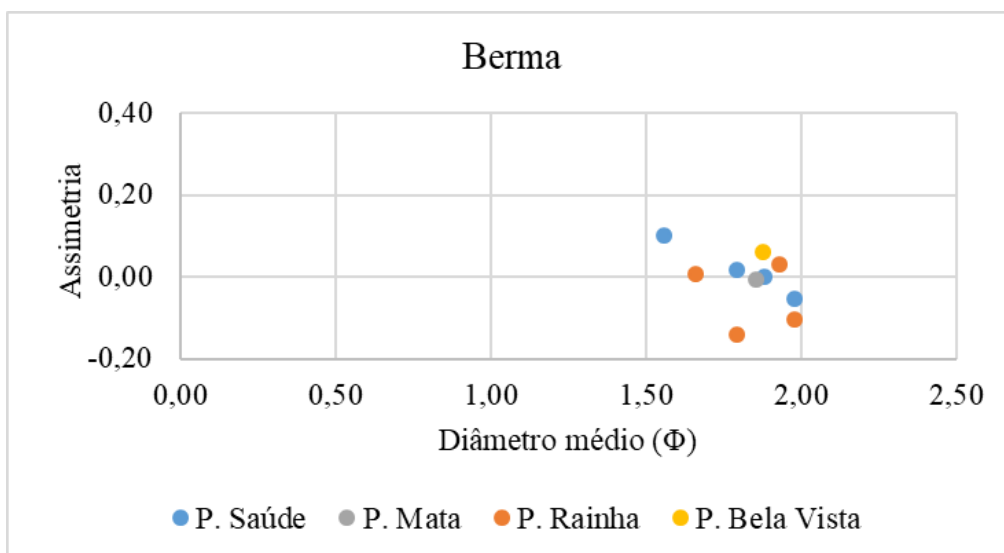
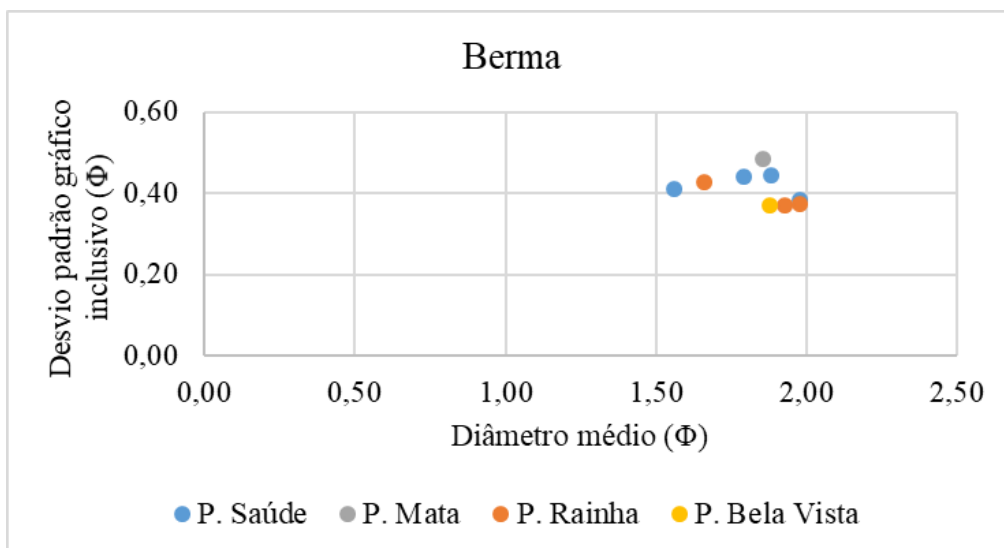
Anexo 2.1. - Fatores ambientais e adaptação de plantas no sistema praia-duna (Adaptada de Hesp, 1991; Seoane et al., 2007).

Fator ambiental	Exemplos
<b>Exposição ao vento</b>	Gramíneas, <i>Eryngium maritimum</i> , <i>Ononis natrix</i> , <i>Artemisia crithmifolia</i> , <i>Euphorbia peplis</i> , <i>Calystegia soldanella</i> , <i>Herniaria maritima</i>
<b>Erosão marinha</b> (ciclo de vida anual, dispersão das sementes pela água, presença de rizomas, crescimento lento)	<i>Cakile maritima</i> , <i>Salsola kali</i> , <i>Linaria pedunculata</i> , <i>Ammophila arenaria</i> , <i>Elymus farctus</i>
<b>Pobreza em nutrientes</b> (fixação do azoto, presença de micorrizas nas raízes)	Leguminosas, <i>Ammophila arenaria</i>
<b>Elevadas temperaturas/intensidade de luz</b> (folhas cilíndricas, planas de cor clara)	<i>Ammophila arenaria</i> , <i>Elymus farctus</i> , <i>Otanthus maritimus</i> , <i>Medicago marina</i>
<b>Inundação marinha</b>	<i>Cakile maritima</i> ; <i>Salsola kali</i> ; <i>Elymus farctus</i> (limitada)
<b>Secura</b> (plantas que desenvolvem estratégias contra a perda de água: Raízes muito profundas, sistemas radiculares superficiais, entre outros)	<i>Medicago marina</i> , <i>Otanthus maritimus</i> , <i>Lotus creticus</i> , <i>Malcomia littorea</i> , <i>Helichrysum picardi</i> , <i>Euphorbia paralias</i> , <i>Crucianella marítima</i> , <i>Eryngium maritimum</i> , <i>Artemisia crithmifolia</i> , <i>Corema album</i> , <i>Lotus creticus</i> , <i>Pancratium maritimum</i> , <i>Juniperus turbinata</i> , <i>Sedum sediforme</i> , <i>Herniaria maritima</i> , <i>Carpobrotus edulis</i> , <i>Ammophila arenaria</i> , <i>Calystegia soldanella</i> , <i>Silene littorea</i> ; <i>Medicago littoralis</i> , <i>Polygonum maritimum</i> ; <i>Thymus carnosus</i> , <i>Herniaria maritima</i> , <i>Linaria pedunculata</i> , <i>Silene littorea</i> , <i>Salsola kali</i> , <i>Anthemis maritima</i> , <i>Elymus farctus</i> , <i>Helichrysum picardi</i> , <i>Armeria pungens</i>
<b>Salinidade</b> (tolerância/resistência/preferência ao sal, suculência)	<i>Cakile maritima</i> (resistente), <i>Salsola kali</i> (preferência), <i>Cakile maritima</i> , <i>Carpobrotus edulis</i>
<b>Soterramento na areia</b> (estimulação do crescimento, aptidão para formar rizomas horizontais, entre outros)	<i>Ammophila arenaria</i> , <i>Elymus farctus</i> , <i>Artemisia crithmifolia</i> , <i>Calystegia soldanella</i> , <i>Cyperus capitatus</i> , <i>Carex arenaria</i> , <i>Pancratium maritimum</i>

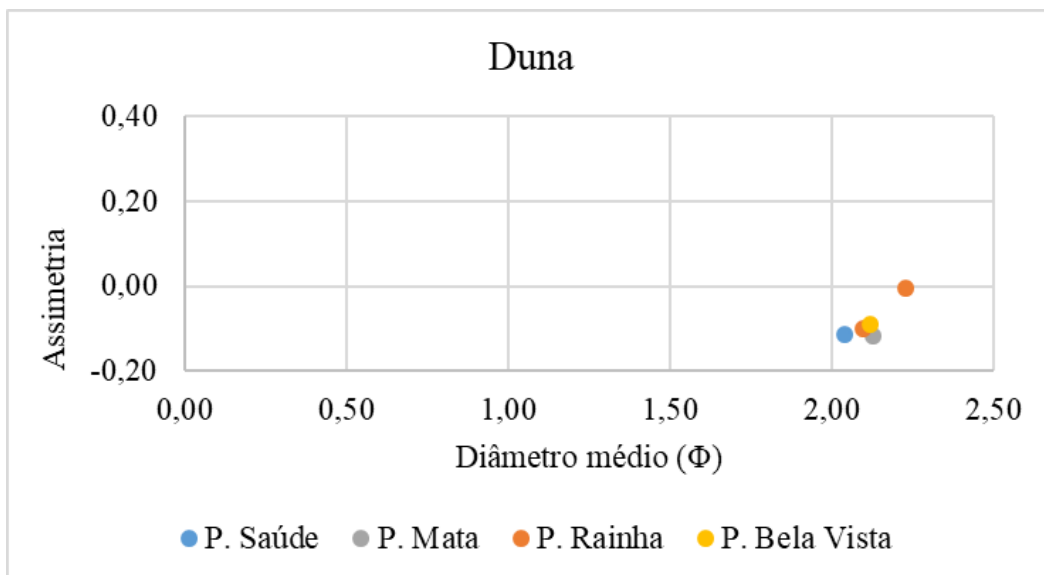
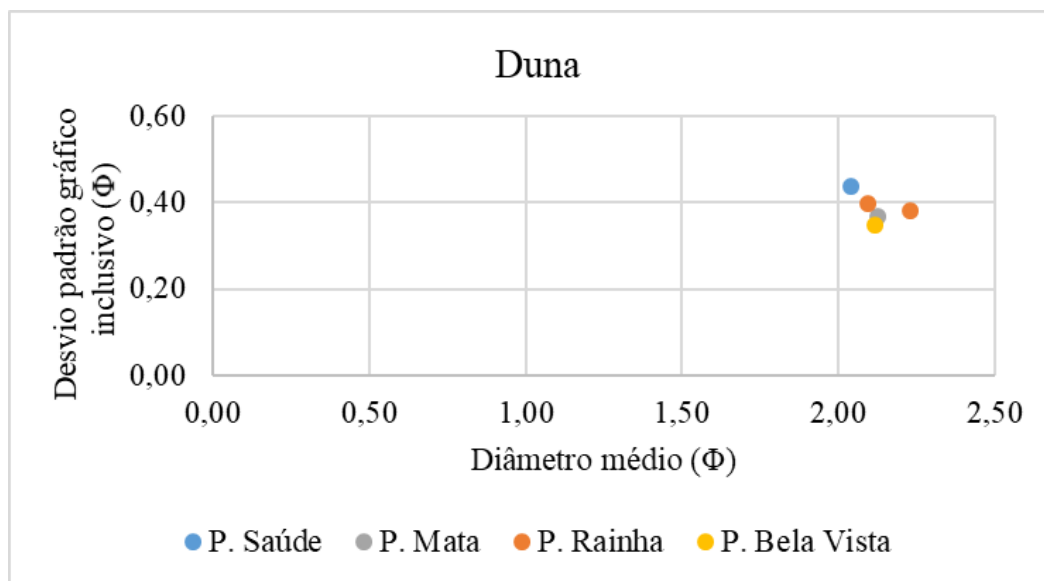
### Anexo 3. Parâmetros granulométricos dos sedimentos das praias a sul da Caparica



Anexo 3.1. - Distribuição do desvio padrão gráfico inclusivo ( $\sigma_I$ ) e da assimetria ( $S_{ki}$ ) em relação ao diâmetro médio ( $\phi$ ) dos sedimentos da face



*Anexo 3.2. - Distribuição do desvio padrão gráfico inclusivo ( $\sigma$ ) e da assimetria ( $Ski$ ) em relação ao diâmetro médio ( $\phi$ ) dos sedimentos da berma.*



*Anexo 3.3. - Distribuição do desvio padrão gráfico inclusivo ( $\sigma$ ) e da assimetria ( $S_{ki}$ ) em relação ao diâmetro médio ( $\phi$ ) dos sedimentos da duna.*

*Anexo 3.4. - Classificação dos sedimentos quanto ao desvio padrão inclusivo ( $\phi$ ) (Folk & Ward, 1957).*

Classificação	Escala ( $\phi$ )
Muito bem calibrado	< 0.35
Bem calibrado	0.35 - 0.50
Moderadamente bem calibrado	0.50 - 0.71
Moderadamente calibrado	0.71 - 1.0
Mal calibrado	1.0 - 2.0
Muito mal calibrado	2.0 - 4.0
Extremamente mal calibrado	> 4.0

Anexo 3.5. - Classificação dos sedimentos quanto à assimetria (SKI) (Folk & Ward, 1957).

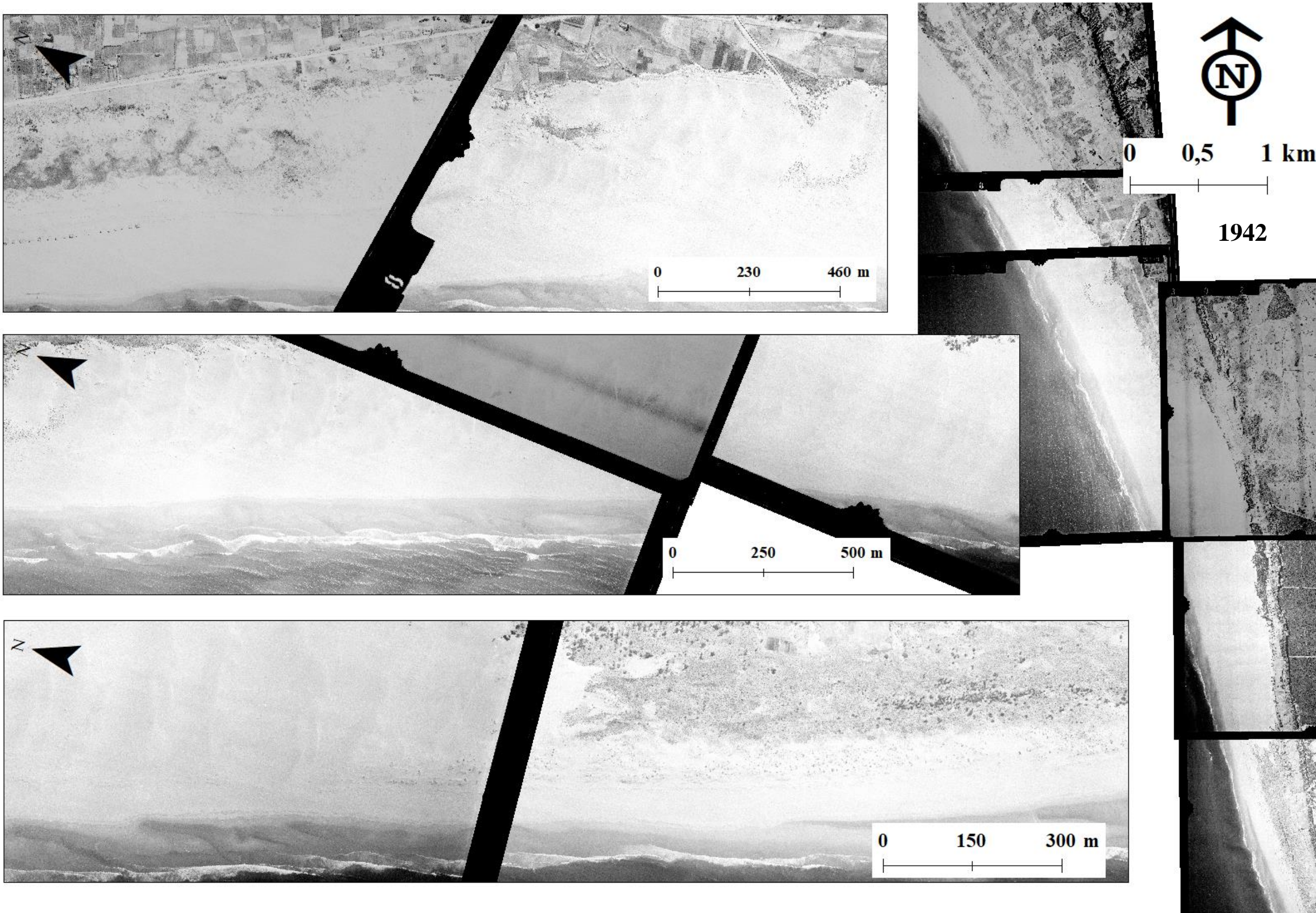
Classificação	SKI
Fortemente assimétrica no sentido dos finos	+1.00 - +0.30
Assimétrica no sentido dos finos	+0.30 - +0.10
Aproximadamente simétrica	+0.10 - -0.10
Assimétrica no sentido dos grosseiros	-0.10 - -0.30
Fortemente assimétrica no sentido dos grosseiros	-0.30 - - 1.00

Anexo 3.6. - Parâmetros granulométricos das areias da face de praia, berma e duna das praias da Saúde, Mata, Rainha e Bela Vista.

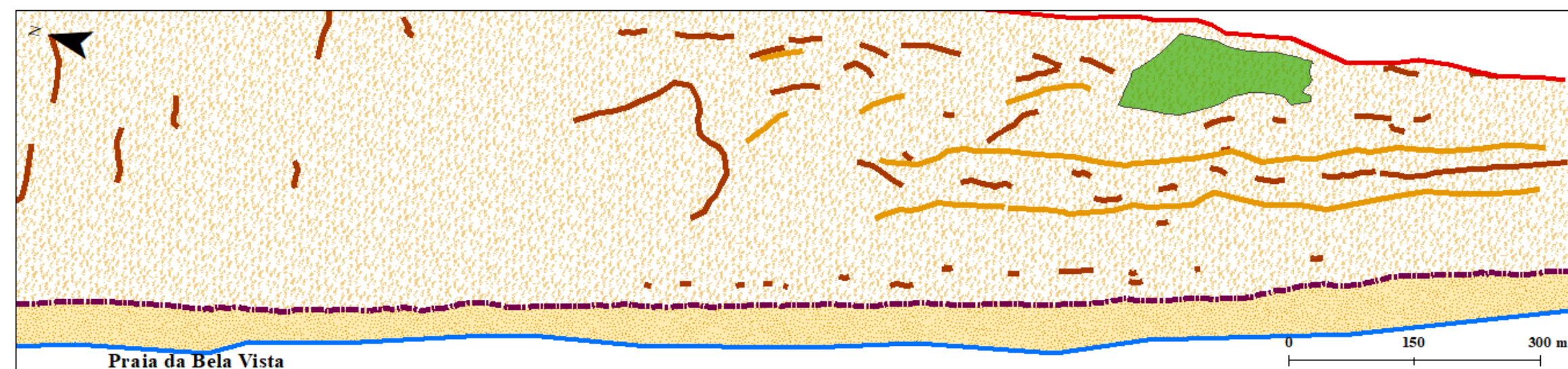
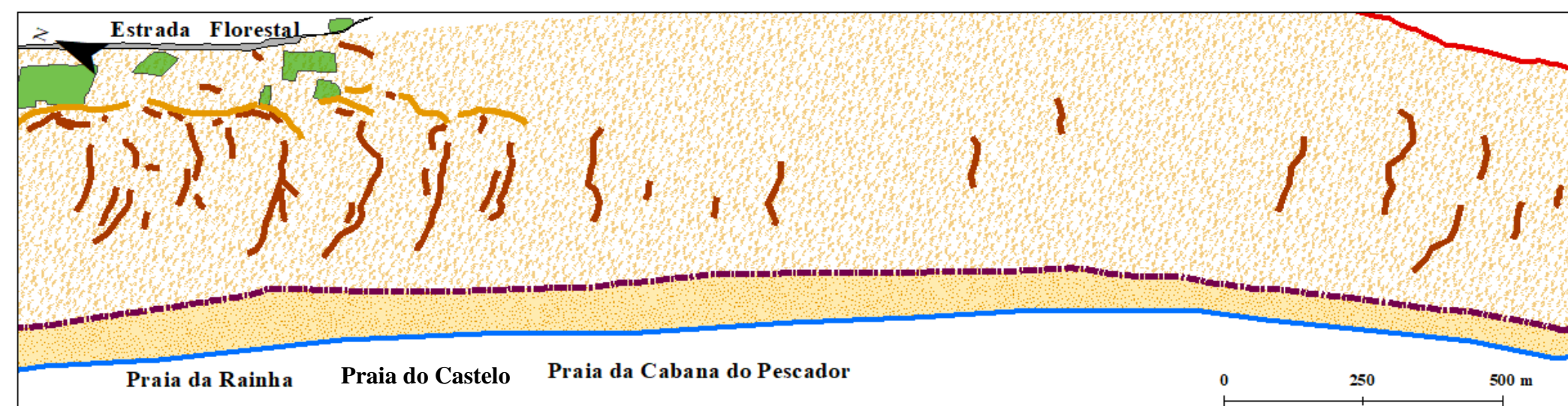
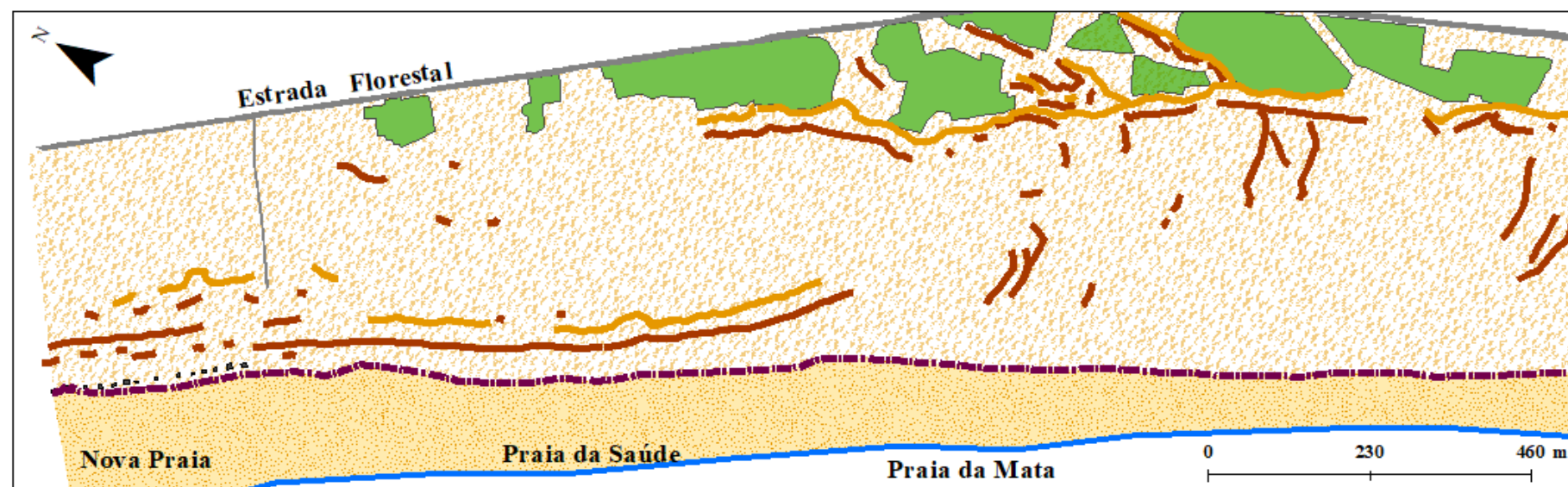
Amostra	Praia	Mês/Ano	Média gráfica ( $\Phi$ )	Desvio padrão gráfico inclusivo ( $\Phi$ )	Assimetria (SKI)	Curtose
Face praia	Saúde	mar/11	1,53	0,39	0,21	0,91
	Saúde	set/11	1,79	0,44	0,02	0,99
	Saúde	abr/14	1,35	0,32	0,19	1,23
	Saúde	set/14	1,88	0,49	0,03	0,97
	Saúde	abr/19	2,11	0,37	-0,07	1,04
	Rainha	mar/11	2,11	0,39	-0,09	1,02
	Rainha	set/11	1,79	0,64	-0,14	1,06
	Rainha	abr/14	1,63	0,52	0,01	0,96
	Rainha	set/14	1,99	0,35	0,15	0,85
	Rainha	abr/19	1,86	0,46	0,08	1,04
	Mata	jun/19	1,72	0,47	0,02	0,90
	Bela Vista	abr/19	2,00	0,42	-0,03	1,00
Berma	Saúde	mar/11	1,98	0,39	-0,05	0,89
	Saúde	set/11	1,79	0,44	0,02	0,99
	Saúde	set/14	1,56	0,41	0,10	0,87
	Saúde	abr/19	1,88	0,45	0,00	0,97
	Rainha	mar/11	1,93	0,37	0,03	0,93
	Rainha	set/11	1,79	0,64	-0,14	1,06
	Rainha	set/14	1,66	0,43	0,01	0,94
	Rainha	abr/19	1,98	0,38	-0,10	0,87
	Mata	jun/19	1,86	0,49	-0,01	0,96
	Bela Vista	abr/19	1,88	0,37	0,06	1,01
Duna	Saúde	jun/19	2,04	0,44	-0,11	1,05
	Rainha	set/11	2,09	0,40	-0,10	1,02
	Rainha	jun/19	2,23	0,38	-0,01	1,28
	Mata	jun/19	2,13	0,37	-0,12	1,20
	Bela Vista	jun/19	2,12	0,35	-0,09	1,08



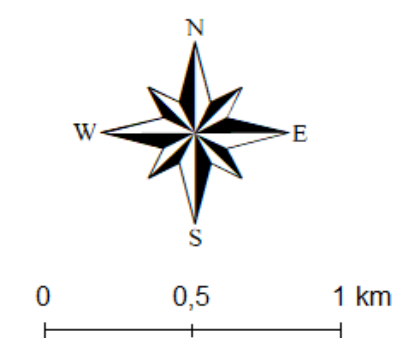
Anexo 4. Fotografias aéreas e respetivos mapas morfológicos





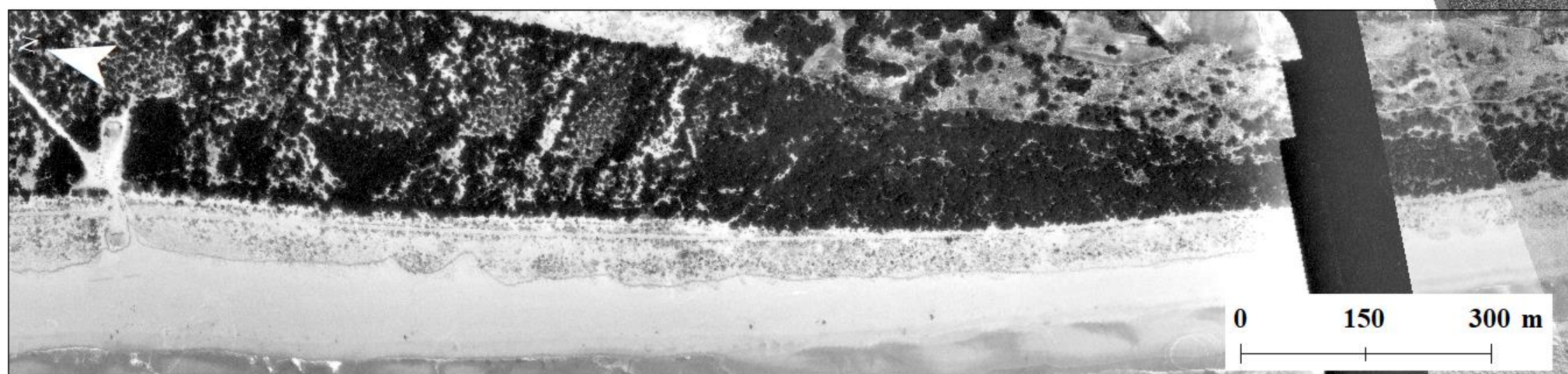


**Legenda:**

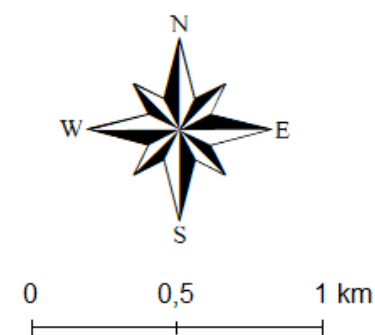
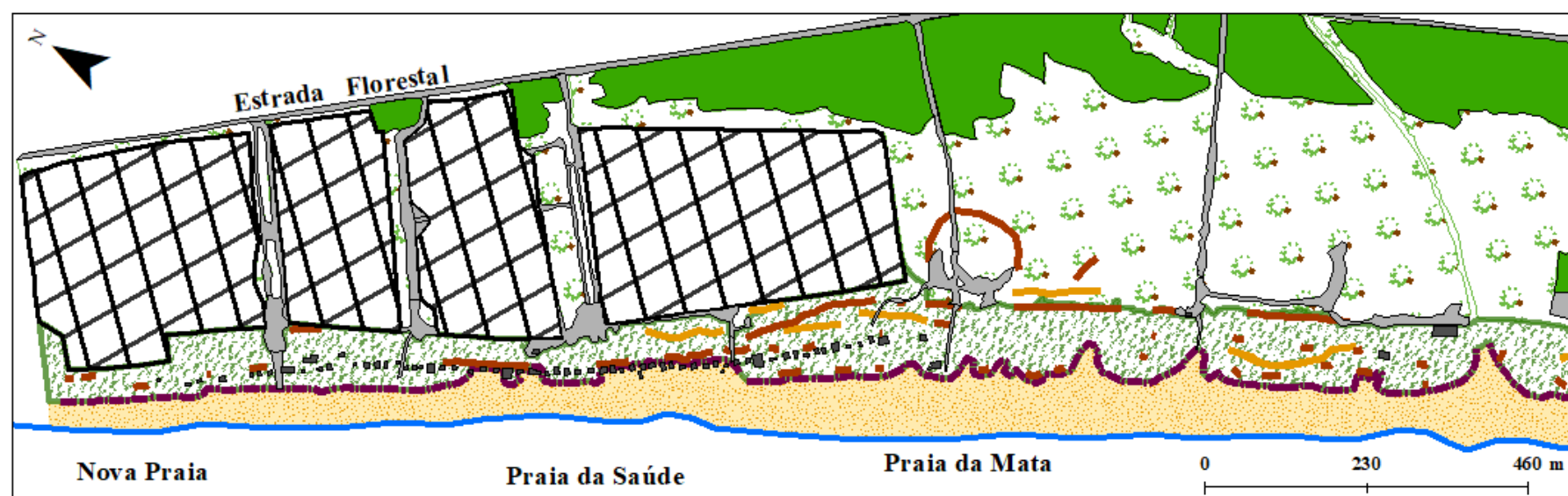


**1942**

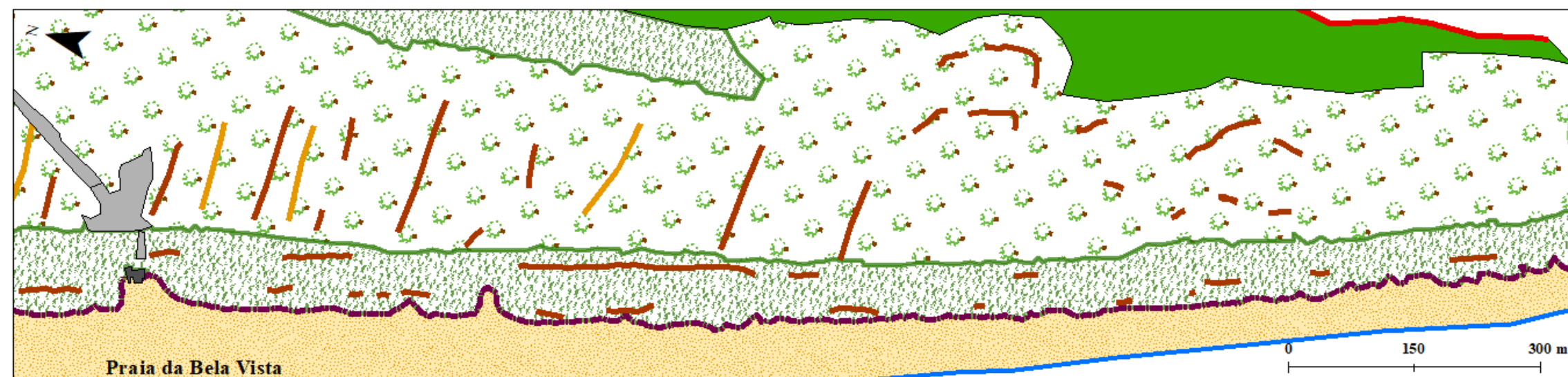
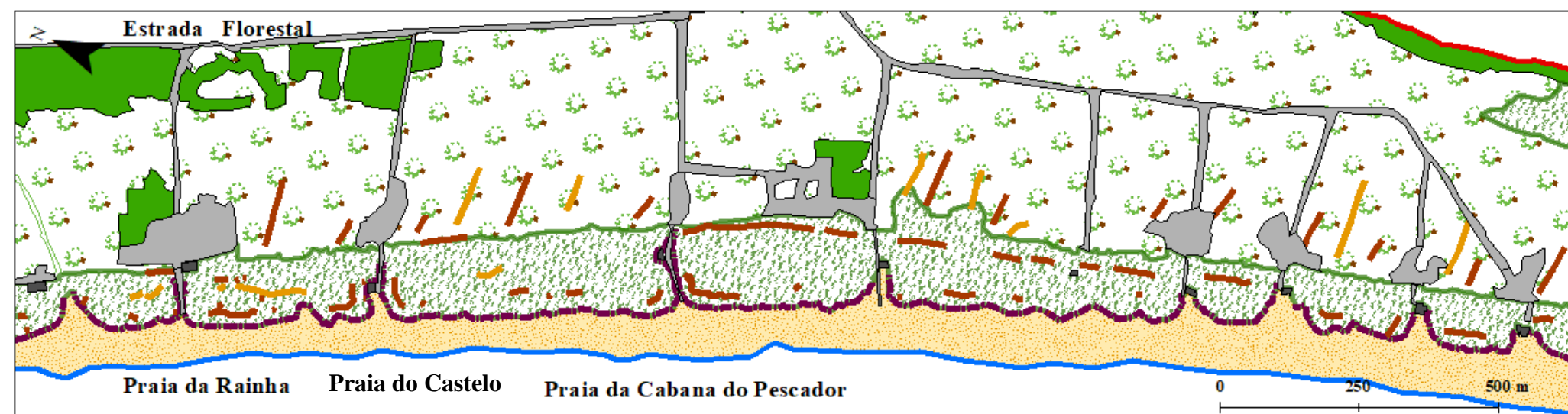








1980



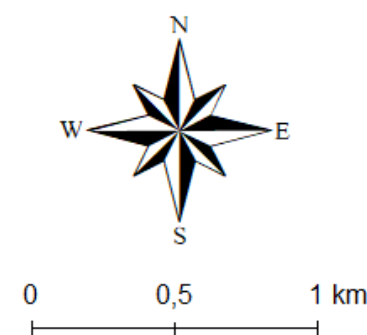
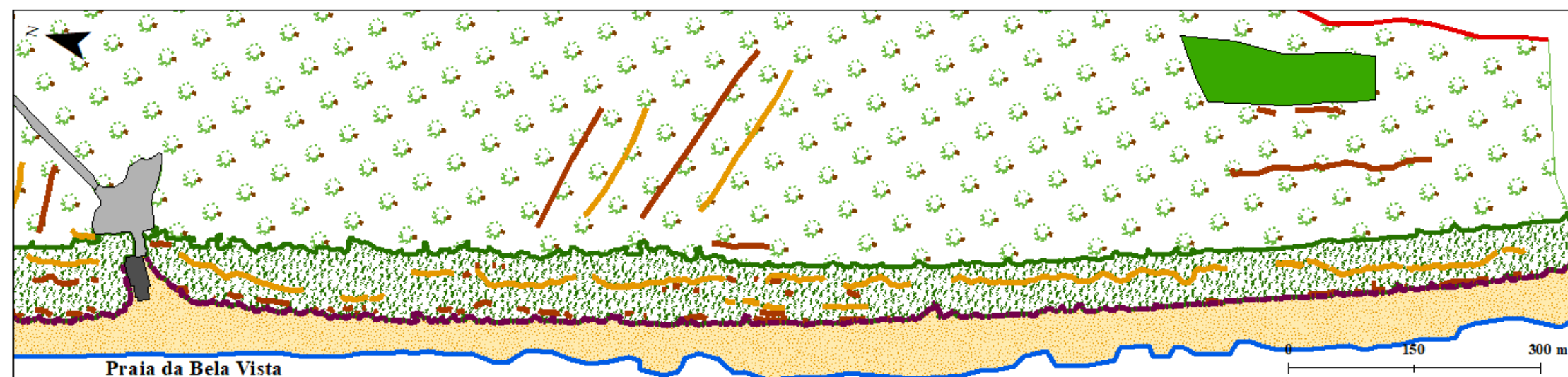
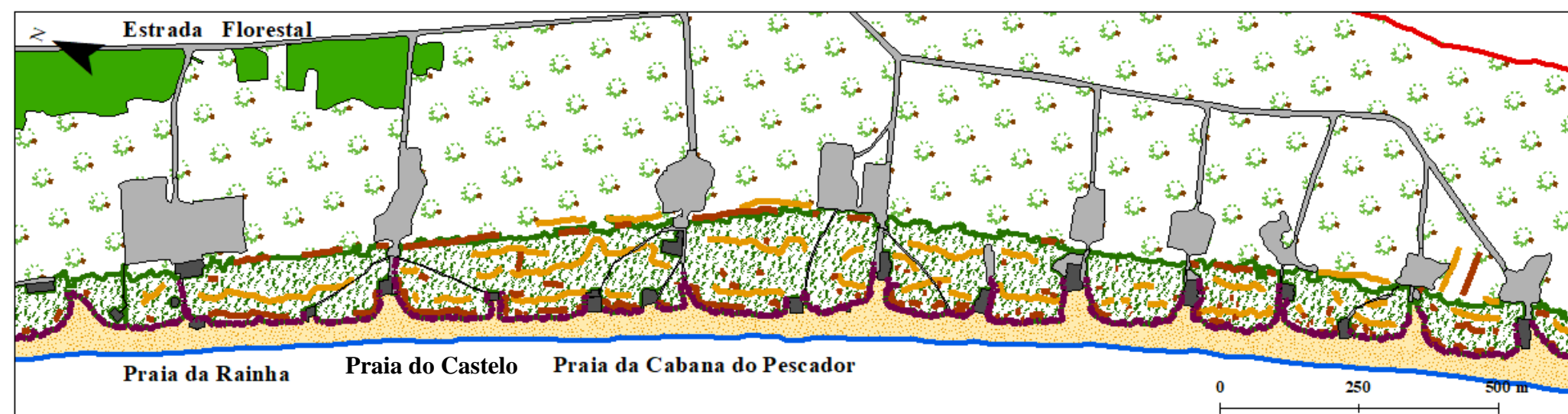
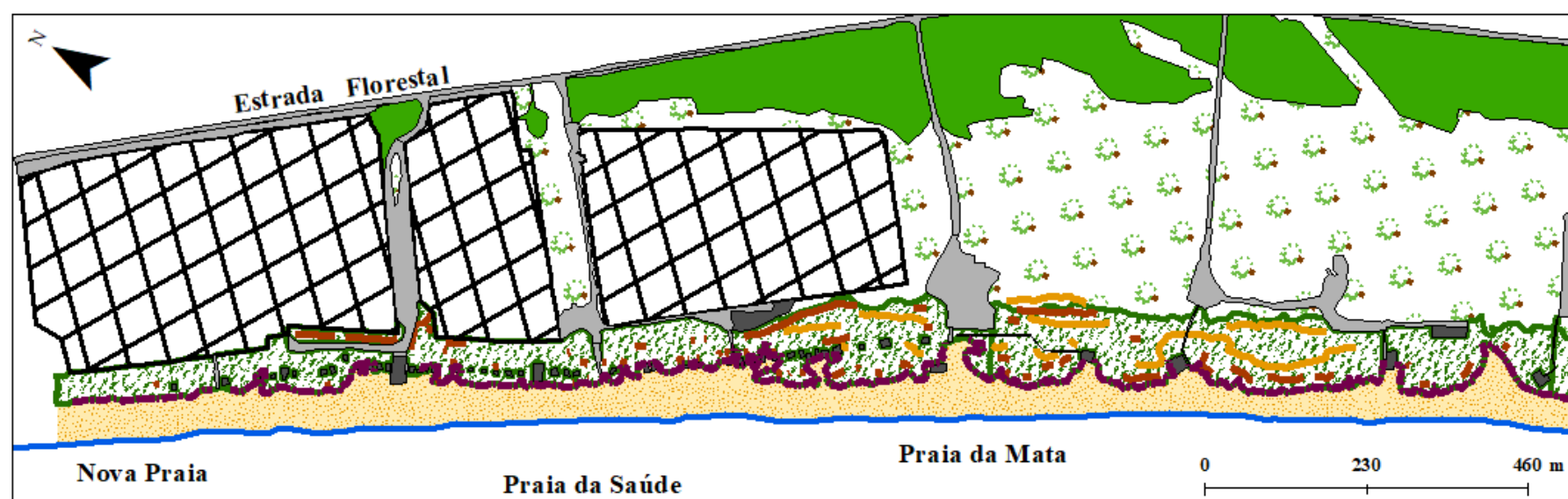
Legenda:









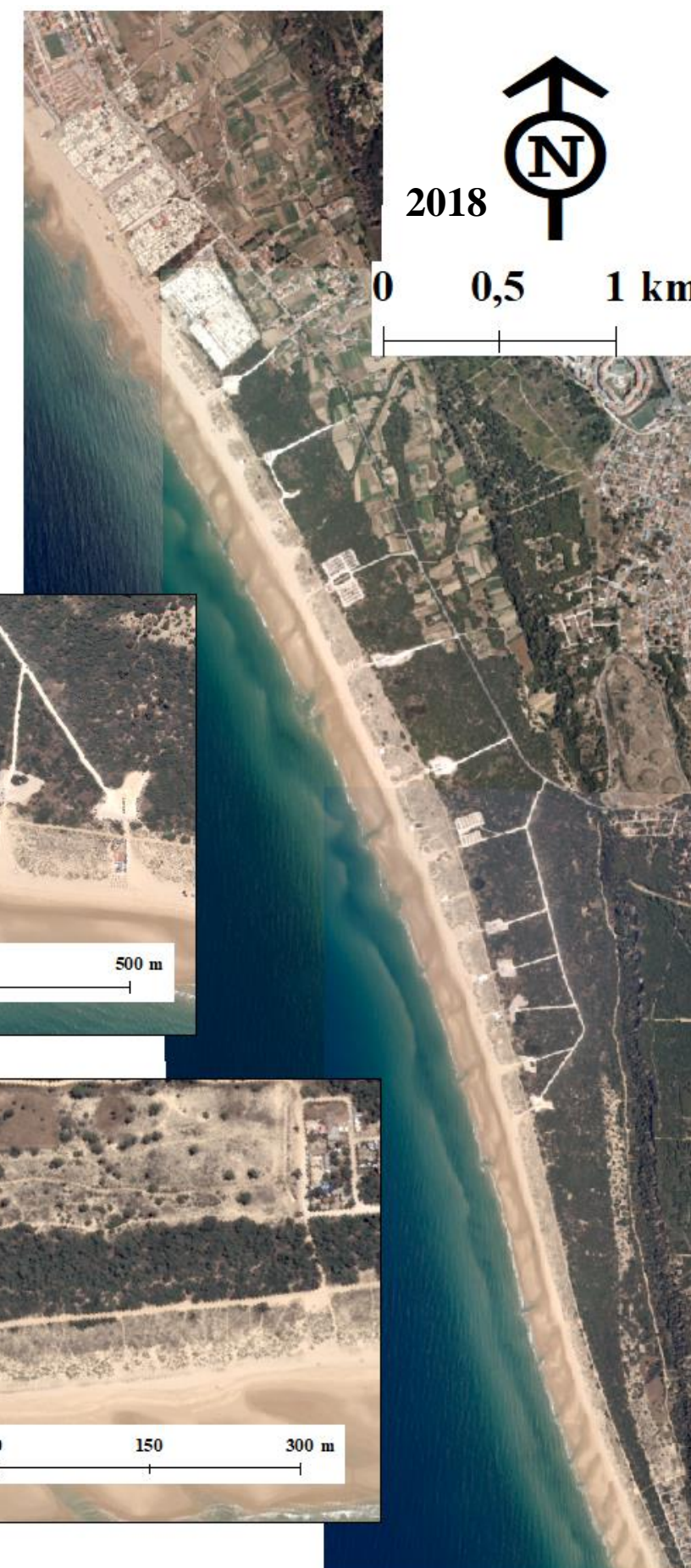
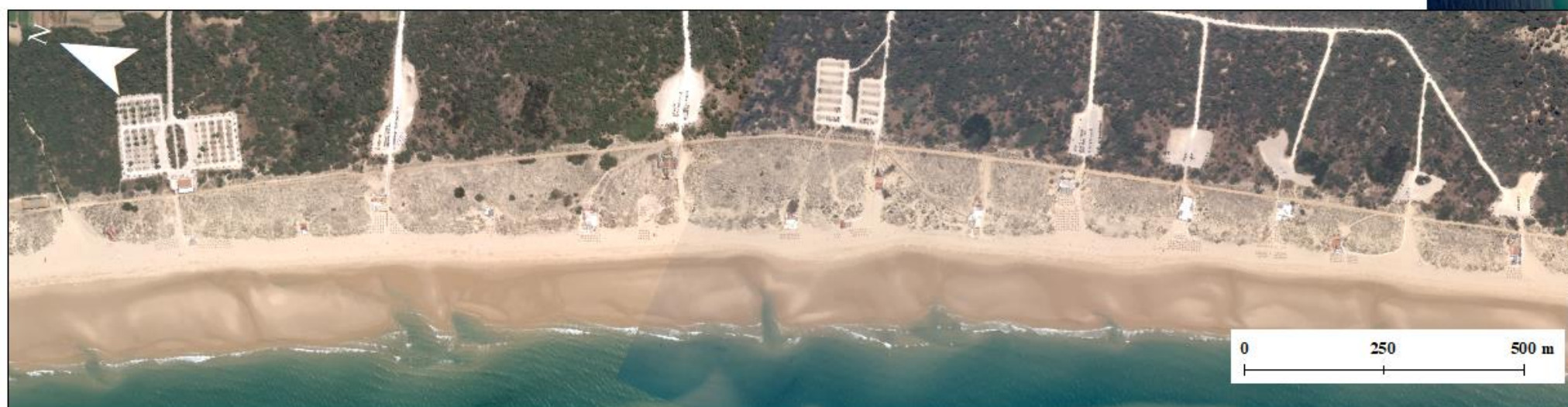


2011

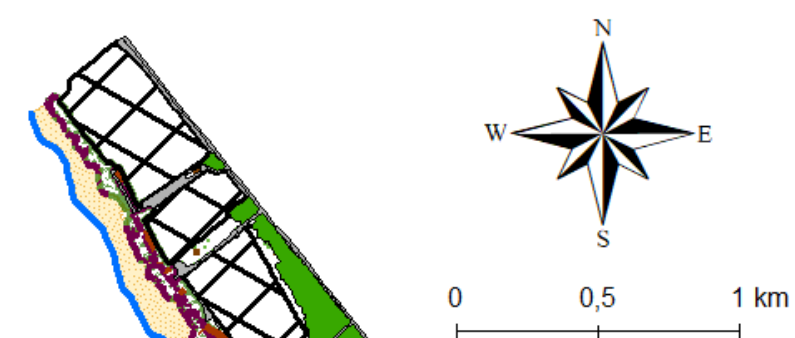
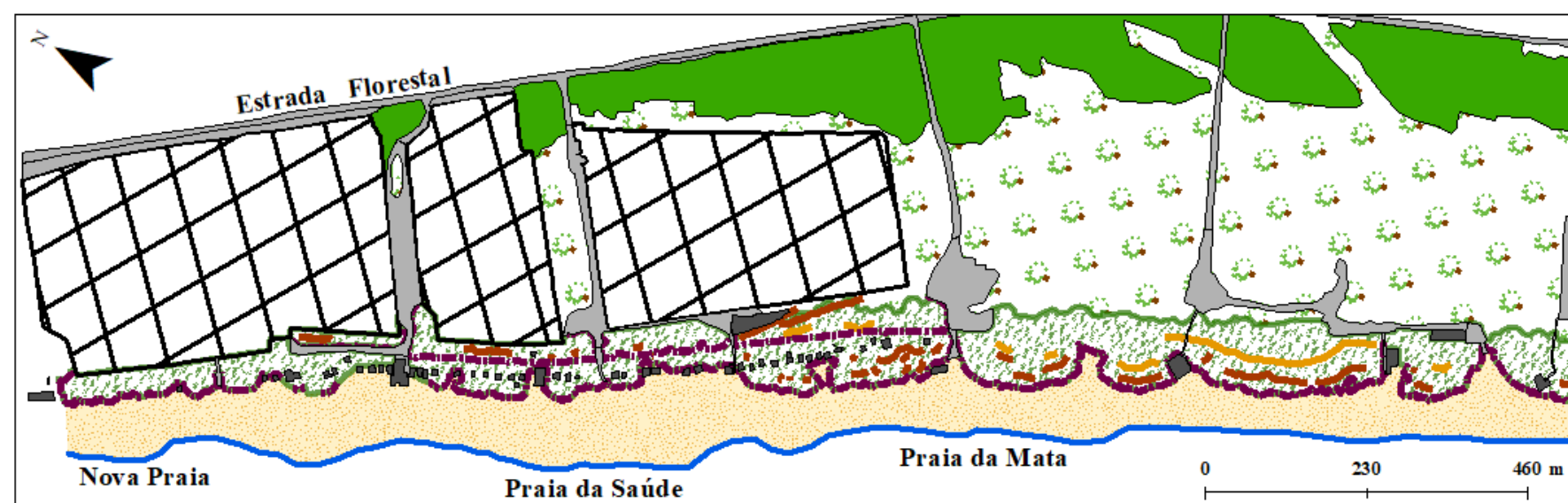
#### Legenda:



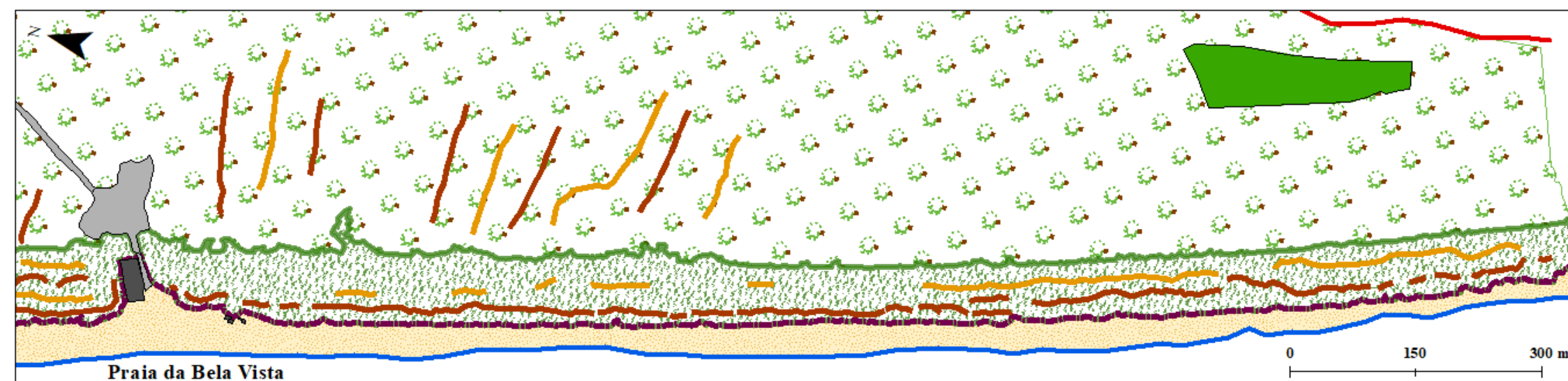
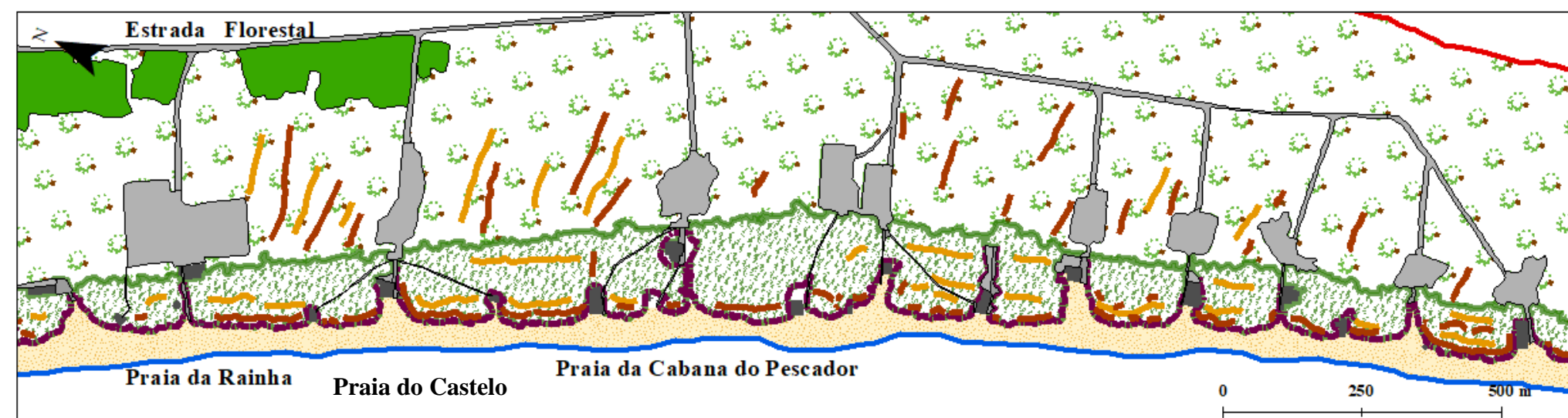








2018



Legenda:

- |                  |                  |                |                  |                         |   |
|------------------|------------------|----------------|------------------|-------------------------|---|
| — Linha de costa | --- Base da duna | — Crista dunar | Acacia           | — Base da Arriba Fóssil | Residências, apoios e equipamentos de praia         |
| Praia            | Dunas            | Interdunares   | Campos agrícolas | Parques de Campismo     | Parq. estacionamento, estradas e acessos principais |

## Anexo 5. Classificação automática da vegetação no cordão dunar frontal

Anexo 5.1. - Resultados da classificação automática da imagem de 2008.

Troço		Pixeis			Área (m²)			Percentagens		Classificação		Obs.
		Areia	Vegetação	Nº pixeis total	Areia	Vegetação	Área total	% Superfície Vegetada	%Superfície não vegetada	Estado (veg)	Estado (veg e morf)	
A	1	109346	948	110294	1093	9	1103	1	99	5	5	SCD, B, PL
	2	105440	9294	114734	1054	93	1147	8	92	5	5	SCD, B, PL
	3	114701	12205	126906	1147	122	1269	10	90	5	5	SCD, B, PL
	4	338898	5755	344653	3389	58	3447	2	98	5	5	SCD, B, PL
	5	107701	1907	109608	1077	19	1096	2	98	5	5	SCD, B, PL
	6	217212	8599	225811	2172	86	2258	4	96	5	5	SCD, B, PL
	7	228991	26622	255613	2290	266	2556	10	90	5	5	SCD, B, PL
	8	167807	24044	191851	1678	240	1919	13	87	5	5	SCD, B, PL
	9	158695	12016	170711	1587	120	1707	7	93	5	5	SCD, B, PL
	10	125086	40591	165677	1251	406	1657	25	75	4	5	SCD, B, PL, VTO
	11	368252	160774	529026	3683	1608	5290	30	70	4	5	SCD, B, PL, VTO
B	12	330114	260960	591074	3301	2610	5911	44	56	4	4	SCD, B, PL
	13	224637	109399	334036	2246	1094	3340	33	67	4	4	SCD, B, PL, PE
	14	347832	267058	614890	3478	2671	6149	43	57	4	4	SCD, B, PL
	15	313215	156952	470167	3132	1570	4702	33	67	4	4	SCD, B, PL
	16	284395	317445	601840	2844	3174	6018	53	47	3	3	B, P
	17	304114	280672	584786	3041	2807	5848	48	52	3	3	B, PL
	18	374994	350075	725069	3750	3501	7251	48	52	3	3	B, PL
	19	296982	163162	460144	2970	1632	4601	35	65	4	4	SCD, B, PL, PE
	20	371483	279639	651122	3715	2796	6511	43	57	4	4	SCD, B, PL
	21	201278	130248	331526	2013	1302	3315	39	61	4	4	SCD, B, P
	22	400439	290374	690813	4004	2904	6908	42	58	4	4	SCD, B, PL
	23	451939	213473	665412	4519	2135	6654	32	68	4	4	SCD, B, PL
	24	539401	358150	897551	5394	3582	8976	40	60	4	4	B, PL
	25	643072	301299	944371	6431	3013	9444	32	68	4	4	B, PL
	26	468238	280212	748450	4682	2802	7485	37	63	4	4	B, PL, PE
	27	566866	390068	956934	5669	3901	9569	41	59	4	4	B, PL, PE
	28	708861	396589	1105450	7089	3966	11055	36	64	4	4	B, PL
	29	846650	518251	1364901	8467	5183	13649	38	62	4	4	B, P
	30	542104	633805	1175909	5421	6338	11759	54	46	3	4	B, P, PE
	31	607139	599217	1206356	6071	5992	12064	50	50	3	3	B, P
	32	543787	596212	1139999	5438	5962	11400	52	48	3	3	B, P
C	33	770954	852594	1623548	7710	8526	16235	53	47	3	3	B, P
	34	887954	596721	1484675	8880	5967	14847	40	60	4	4	B, PL
	35	743284	336301	1079585	7433	3363	10796	31	69	4	4	B, PL
	36	741780	631403	1373183	7418	6314	13732	46	54	3	4	B, PL
	37	574550	543714	1118264	5746	5437	11183	49	51	3	4	B, PL, PE
	38	595415	513982	1109397	5954	5140	11094	46	54	3	4	B, PL
	39	482873	295048	777921	4829	2950	7779	38	62	4	4	B, PL, PE
	40	494236	400097	894333	4942	4001	8943	45	55	4	4	B, P
	41	417779	335941	753720	4178	3359	7537	45	55	4	4	B, PL, PE
	42	365840	293595	659435	3658	2936	6594	45	55	4	4	B, PL
	43	420052	303026	723078	4201	3030	7231	42	58	4	4	B, PL, PE
	44	408641	220031	628672	4086	2200	6287	35	65	4	4	B, PL
	45	422873	272641	695514	4229	2726	6955	39	61	4	4	B, PL
	46	350789	233357	584146	3508	2334	5841	40	60	4	4	B, PL
	47	321129	154707	475836	3211	1547	4758	33	67	4	4	B, P
	48	426719	259809	686528	4267	2598	6865	38	62	4	4	B, P
	49	459480	284254	743734	4595	2843	7437	38	62	4	4	B, P
	50	434785	321868	756653	4348	3219	7567	43	57	4	4	B, P
	51	408607	297155	705762	4086	2972	7058	42	58	4	4	B, P
	52	376222	317203	693425	3762	3172	6934	46	54	3	4	B, P
	53	307010	360381	667391	3070	3604	6674	54	46	3	3	B, P
	54	282152	378296	660448	2822	3783	6604	57	43	3	3	B, P
	55	306964	275337	582301	3070	2753	5823	47	53	3	3	B, P
	56	315480	276449	591929	3155	2764	5919	47	53	3	3	B, P
	57	292516	245307	537823	2925	2453	5378	46	54	3	3	B, P
	58	345611	226918	572529	3456	2269	5725	40	60	4	4	B, P
	59	346811	261615	608426	3468	2616	6084	43	57	4	4	B, P
	60	242582	361067	603649	2426	3611	6036	60	40	3	3	B, P
	61	272373	320977	593350	2724	3210	5934	54	46	3	3	B, P
	62	158180	157093	315273	1582	1571	3153	50	50	3	3	B, P
	63	3501	3684	7185	35	37	72	51	49	3	4	B, P
Total		24386811	17526586	41913397	243868	175266	419134	38	62	4	4	

SCD - Sem Cristas Definidas

B - Blowouts

P - Pisoteio ; PL - Pisoteio marcado largo

VTO - Vegetação no tardoz das ocupações antrópicas

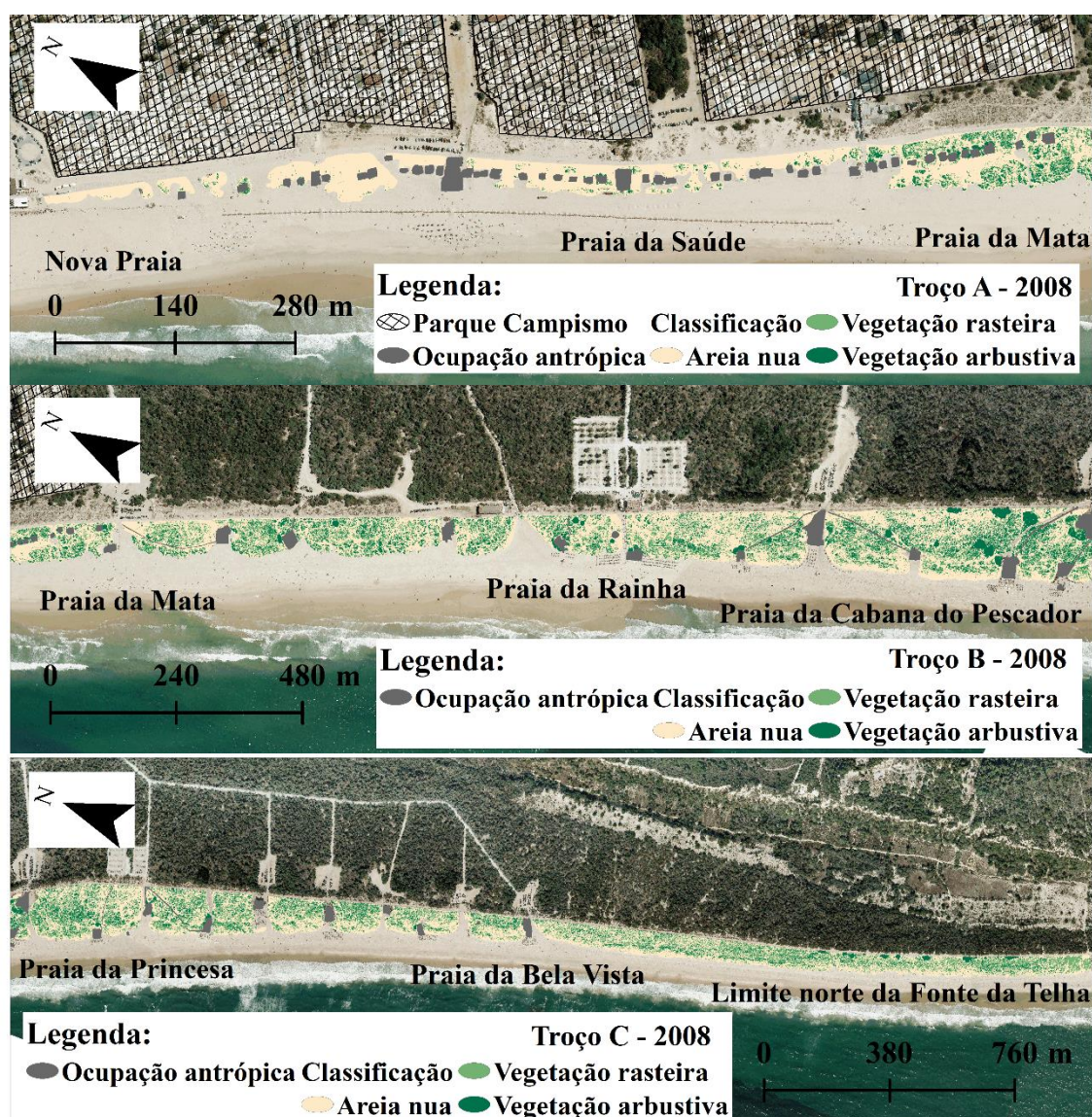


Anexo 5.2. -Distribuição, por troços, dos estados de conservação na imagem de 2008.

Estados de conservação (Hesp, 1988)	Troço A	Troço B	Troço C	Total	% transectos por estado de conservação
Estado 1 (%)	0	0	0	<u>0</u>	0
Estado 2 (%)	0	0	0	<u>0</u>	0
Estado 3 (%)	0	5	9	<u>14</u>	22
Estado 4 (%)	0	16	22	<u>38</u>	60
Estado 5 (%)	11	0	0	<u>11</u>	17
<b>Total</b>	<u>11</u>	<u>21</u>	<u>31</u>	<u>63</u>	100

% de comprimento por troço	17	33	49	100
----------------------------	----	----	----	-----



Anexo 5.3.- Resultados da classificação automática na imagem de 2018, nos troços considerados. Troço A – entre a Nova praia e a praia da Mata. Troço B – localizado entre a praia da Mata e a praia da Cabana do pescador. Troço C – entre a praia da Princesa e o limite norte da Fonte da Telha.

Anexo 5.4. - Resultados da classificação automática da imagem de 2018.

Troço		Pixeis			Área (m²)			Percentagens		Classificação		Obs.
		Areia	Vegetação	Nº pixeis total	Areia	Vegetação	Área total	% Superfície Vegetada	% Superfície não vegetada	Estado (veg)	Estado (veg e morf)	
A	1	24899	287	25186	2262	26	2288	1	99	5	5	SCD, B, PL
	2	28463	111	28574	2586	10	2596	0	100	5	5	SCD, B, PL
	3	31775	128	31903	2887	12	2899	0	100	5	5	SCD, B, PL
	4	43151	623	43774	3920	57	3977	1	99	5	5	SCD, B, PL
	5	15834	151	15985	1439	14	1452	1	99	5	5	SCD, B, PL
	6	35905	982	36887	3262	89	3351	3	97	5	5	SCD, B, PL
	7	33998	2722	36720	3089	247	3336	7	93	5	5	SCD, B, PL
	8	39056	2309	41365	3548	210	3758	6	94	5	5	SCD, B, PL
	9	23591	1493	25084	2143	136	2279	6	94	5	5	SCD, B, PL
	10	33320	2679	35999	3027	243	3271	7	93	5	5	SCD, B, PL, VTO
	11	45836	16373	62209	4164	1488	5652	26	74	4	5	SCD, B, PL, VTO
B	12	31134	43842	74976	2829	3983	6812	58	42	3	4	SCD, B, PL
	13	31721	18219	49940	2882	1655	4537	36	64	4	4	B, P
	14	41319	38177	79496	3754	3469	7223	48	52	3	3	B, PL
	15	32311	25357	57668	2936	2304	5239	44	56	4	4	SCD, B, P
	16	30845	39806	70651	2802	3617	6419	56	44	3	3	B, PL
	17	32650	38637	71287	2966	3510	6477	54	46	3	3	B, P
	18	30146	56227	86373	2739	5108	7847	65	35	3	3	B, P
	19	24917	35425	60342	2264	3218	5482	59	41	3	3	SCD, B, PL
	20	19077	55395	74472	1733	5033	6766	74	26	3	3	B, P
	21	15695	29978	45673	1426	2724	4150	66	34	3	3	SCD, B, P
	22	31424	49949	81373	2855	4538	7393	61	39	3	3	B, P
	23	43671	35053	78724	3968	3185	7152	45	55	3	3	B, P
	24	41887	61264	103151	3806	5566	9372	59	41	3	3	B, P
	25	40769	64946	105715	3704	5901	9605	61	39	3	3	B, P
	26	32529	53134	85663	2955	4827	7783	62	38	3	3	B, P
	27	44335	71170	115505	4028	6466	10494	62	38	3	3	B, P
	28	63562	64361	127923	5775	5847	11622	50	50	3	3	B, P
	29	40662	116215	156877	3694	10559	14253	74	26	3	3	B, P
	30	21274	112730	134004	1933	10242	12175	84	16	2	3	SCD, B, PL
	31	81478	53991	135469	7403	4905	12308	40	60	4	4	B, PL
	32	45844	89282	135126	4165	8112	12277	66	34	3	3	B, P
C	33	37596	145414	183010	3416	13211	16627	79	21	2	2	B, P
	34	49935	110560	160495	4537	10045	14582	69	31	3	3	B, PL
	35	46481	81165	127646	4223	7374	11597	64	36	3	3	B, PL
	36	44625	112721	157346	4054	10241	14295	72	28	3	3	B, P
	37	31852	91574	123426	2894	8320	11214	74	26	3	3	B, PL
	38	22065	82883	104948	2005	7530	9535	79	21	2	2	B, P
	39	31829	62907	94736	2892	5715	8607	66	34	3	3	B, P
	40	23422	71562	94984	2128	6502	8630	75	25	3	3	B, P
	41	21363	70654	92017	1941	6419	8360	77	23	2	2	B, P
	42	15217	56433	71650	1383	5127	6510	79	21	2	2	B, P
	43	16910	66216	83126	1536	6016	7552	80	20	2	2	B, PL
	44	33271	31337	64608	3023	2847	5870	49	51	3	3	SCD, B, PL
	45	41397	51530	92927	3761	4682	8443	55	45	3	3	B, P
	46	25739	31455	57194	2338	2858	5196	55	45	3	3	B, P
	47	26579	45041	71620	2415	4092	6507	63	37	3	3	B, P
	48	45022	45775	90797	4090	4159	8249	50	50	3	3	B, P
	49	36581	54306	90887	3324	4934	8257	60	40	3	3	B, P
	50	29284	61225	90509	2661	5563	8223	68	32	3	3	B, P
	51	27328	59515	86843	2483	5407	7890	69	31	3	3	B, P
	52	43515	40173	83688	3954	3650	7603	48	52	3	3	B, P
	53	19389	59678	79067	1762	5422	7184	75	25	2	2	B, P
	54	15589	57010	72599	1416	5180	6596	79	21	2	2	P
	55	29887	44813	74700	2715	4071	6787	60	40	3	3	B, P
	56	25668	48531	74199	2332	4409	6741	65	35	3	3	B, P
	57	27697	46361	74058	2516	4212	6728	63	37	3	3	B, P
	58	29064	48873	77937	2641	4440	7081	63	37	3	3	B, P
	59	32627	44528	77155	2964	4046	7010	58	42	3	3	B, P
	60	22806	54767	77573	2072	4976	7048	71	29	3	3	B, P
	61	26075	50335	76410	2369	4573	6942	66	34	3	3	B, P
	62	26985	43994	70979	2452	3997	6449	62	38	3	3	B, P
	63	4867	4672	9539	442	424	867	49	51	3	3	B, P
Total		2043743	3057024	5100767	185682	277742	463424	53	47	3	3	

SCD - Sem Cristas Definidas
B - Blowouts
P - Pisoteio ; PL - Pisoteio marcado largo
VTO - Vegetação no tardoz das ocupações antrópicas

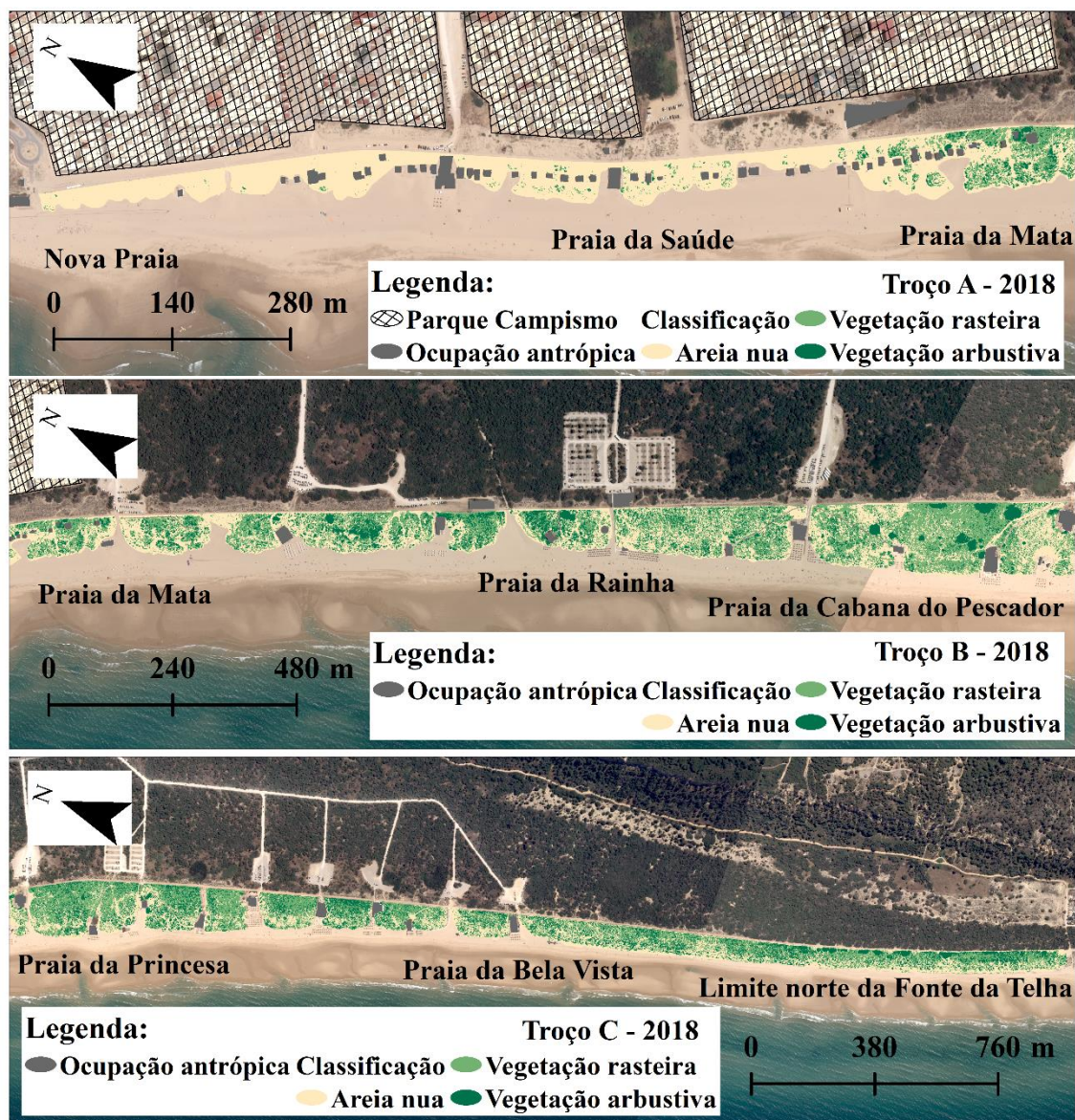


Anexo 5.5. - Distribuição, por troços, dos estados de conservação na imagem de 2018

Estados de conservação (Hesp, 1988)	Troço A	Troço B	Troço C	Total	% transectos por estado de conservação
Estado 1 (%)	0	0	0	<u>0</u>	0
Estado 2 (%)	0	0	7	<u>7</u>	11
Estado 3 (%)	0	17	24	<u>41</u>	65
Estado 4 (%)	0	4	0	<u>4</u>	6
Estado 5 (%)	11	0	0	<u>11</u>	17
<b>Total</b>	<u>11</u>	<u>21</u>	<u>31</u>	<u>63</u>	100

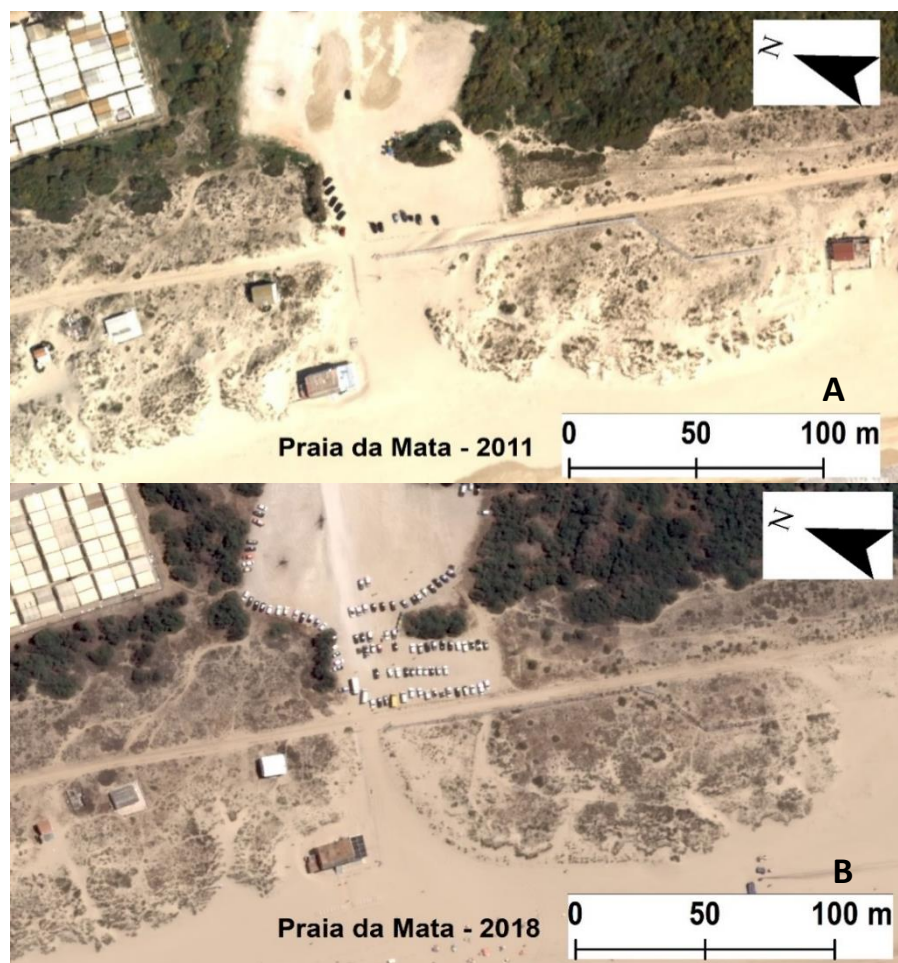
  

% de comprimento por troço	17	33	49	100
----------------------------	----	----	----	-----



Anexo 5.6. - Resultados da classificação automática da imagem de 2018, nos troços considerados. Troço A – entre a Nova praia e a praia da Mata. Troço B – localizado entre a praia da Mata e a praia da Cabana do pescador. Troço C – entre a praia da Princesa e o limite norte da Fonte da Telha.

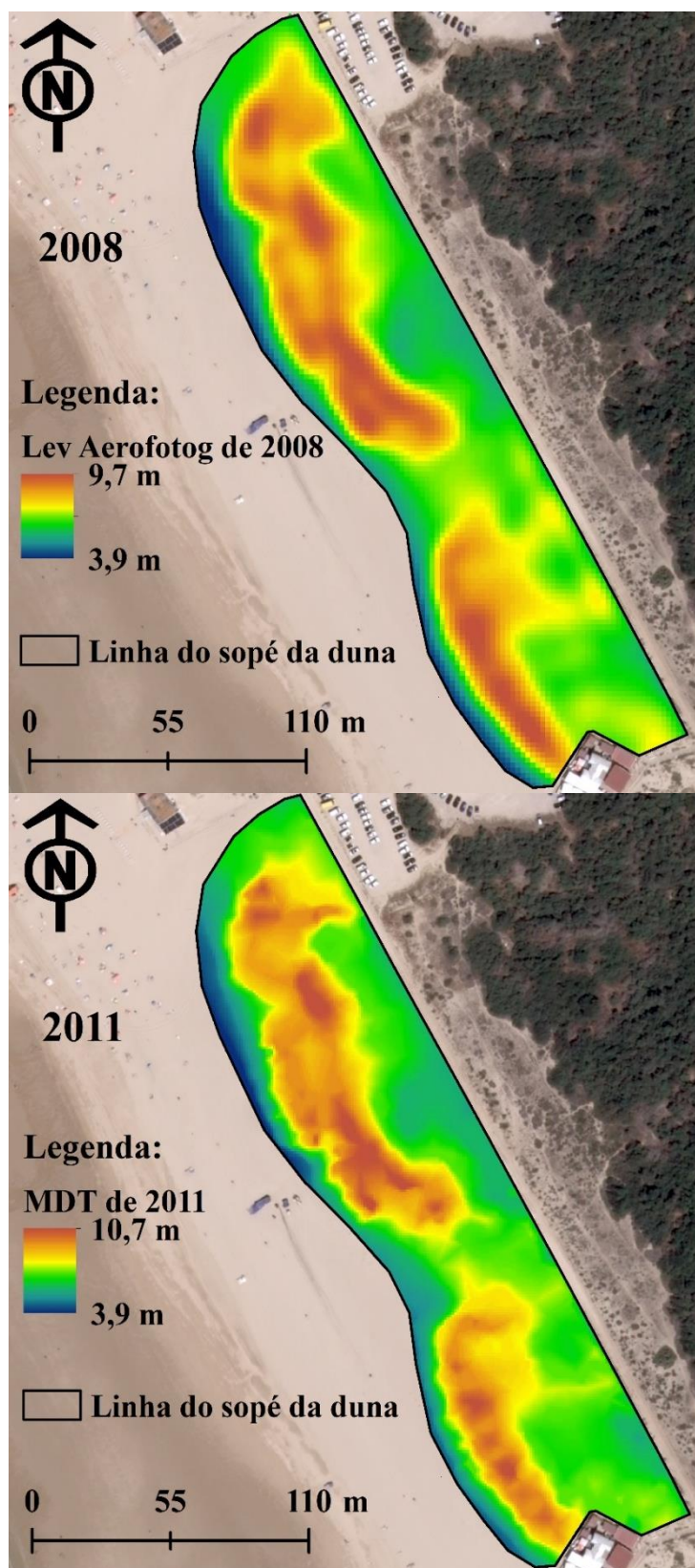
## Anexo 6. Evolução da praia da Mata



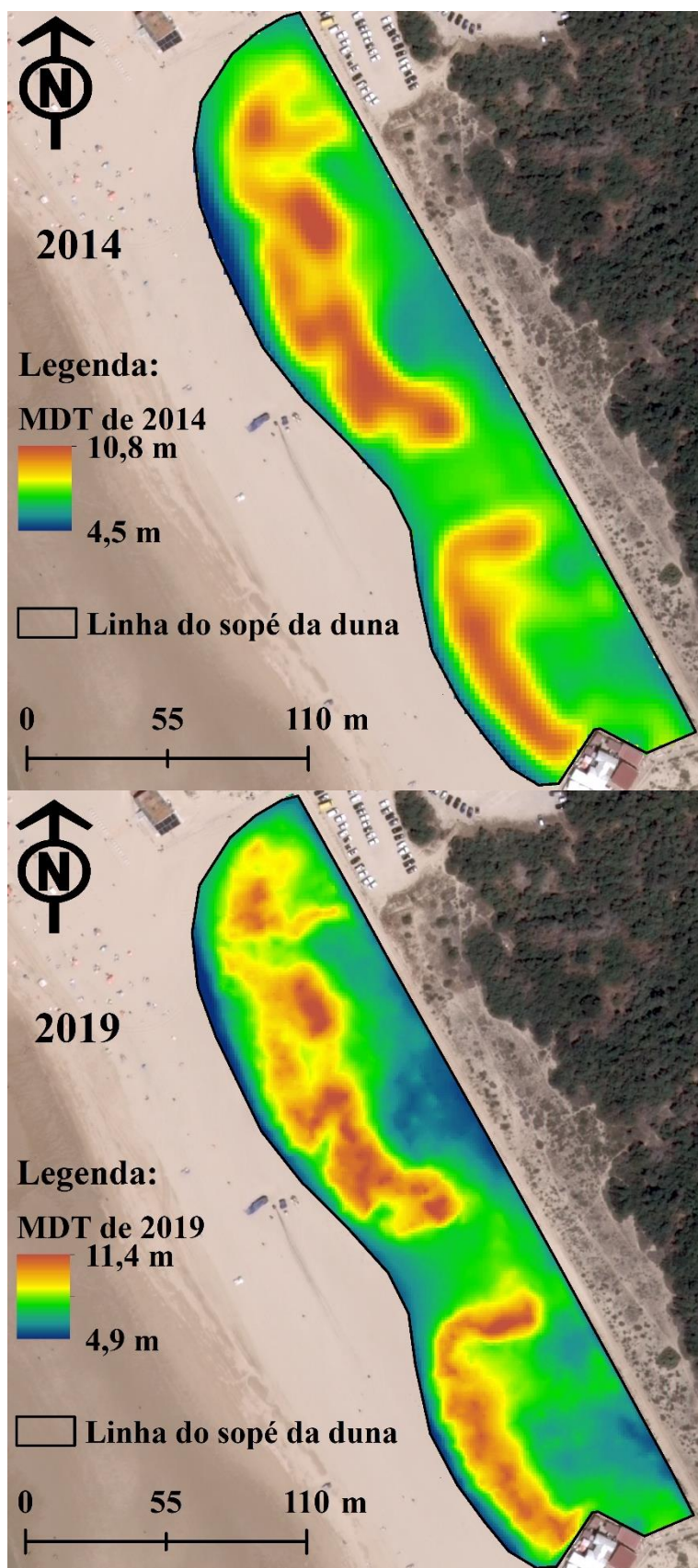
Anexo 6.1. - Dunas da Praia da Mata. **A:** Fotografia aérea de 2011 (Município, S.A.). **B:** Fotografia aérea de 2018 (Município, S.A.).



## Anexo 7. Modelos Digitais de Terreno da praia da Mata

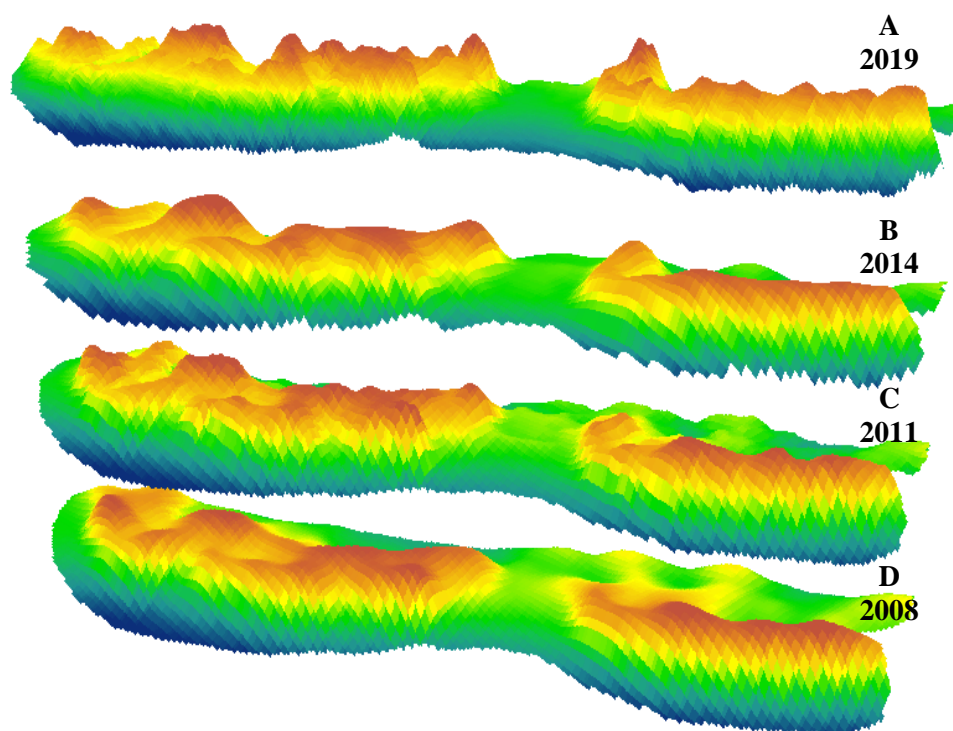


Anexo 7.1. - Modelos digitais de terreno da duna da praia da Mata anteriores às intervenções de recuperação dunar.



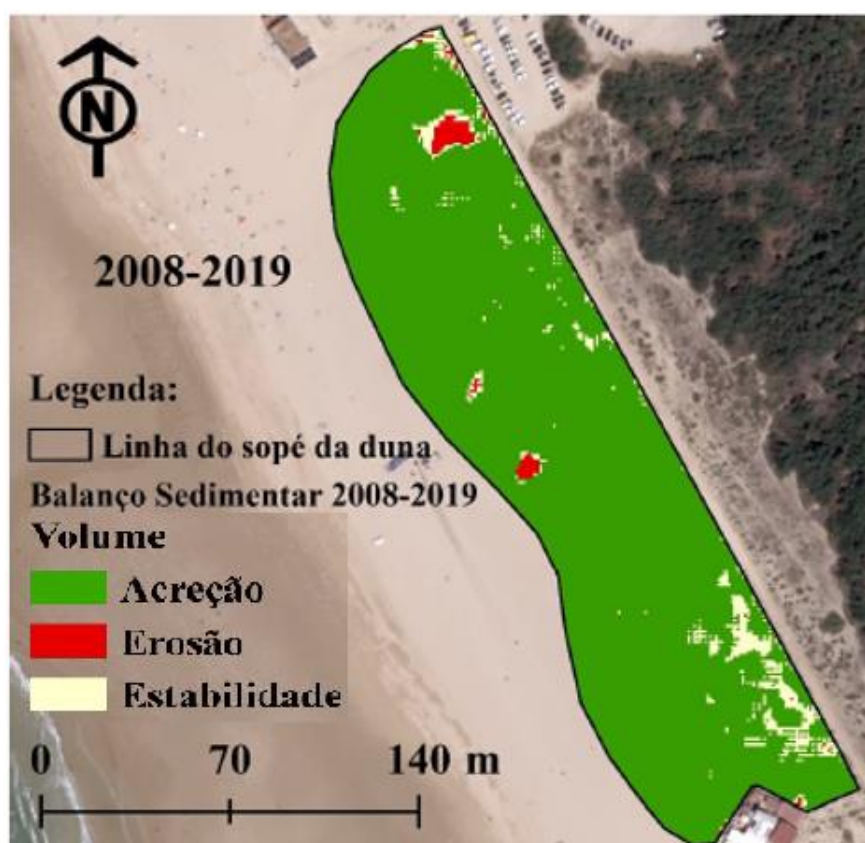
Anexo 7.2. - Modelos digitais de terreno da duna da praia da Mata posteriores às intervenções de recuperação dunar.



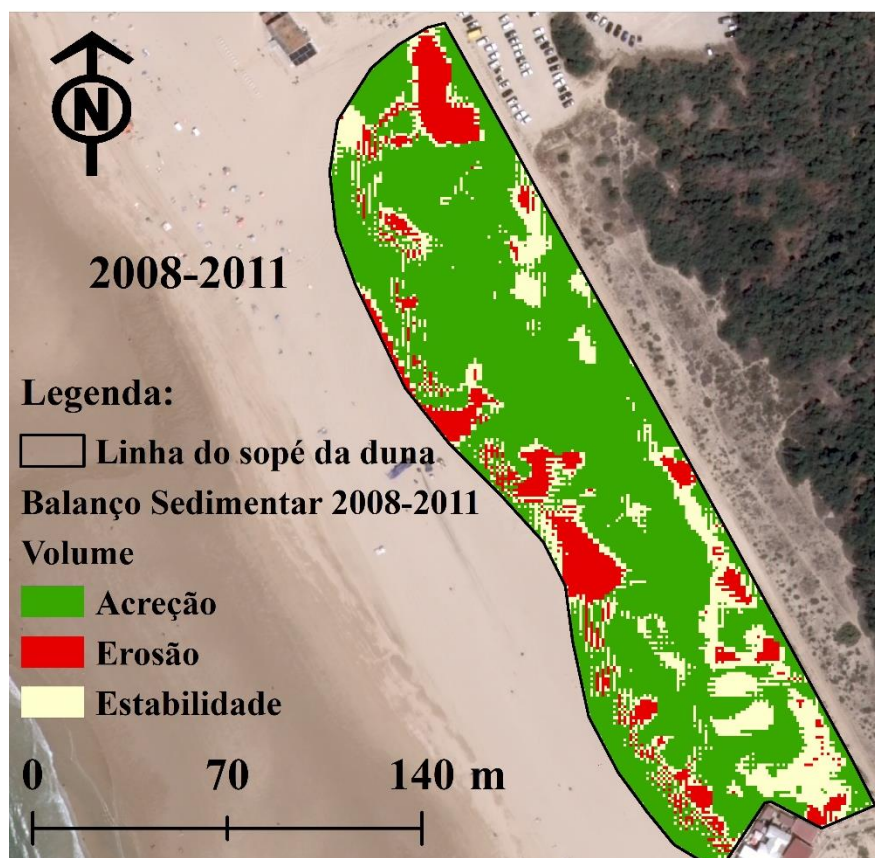


Anexo 5.3. - Modelo 3D dos diferentes levantamentos topográficos. A - MDT 2019 (levantamento de campo); B - MDT 2014 (DGT); C - MDT 2011 (CMA); D - Levantamento aerofotogramétrico 2008 (DGT). Os tons mais quentes (a vermelho) simbolizam as cotas maiores, enquanto os tons mais frios (a azul) representam as cotas menores.

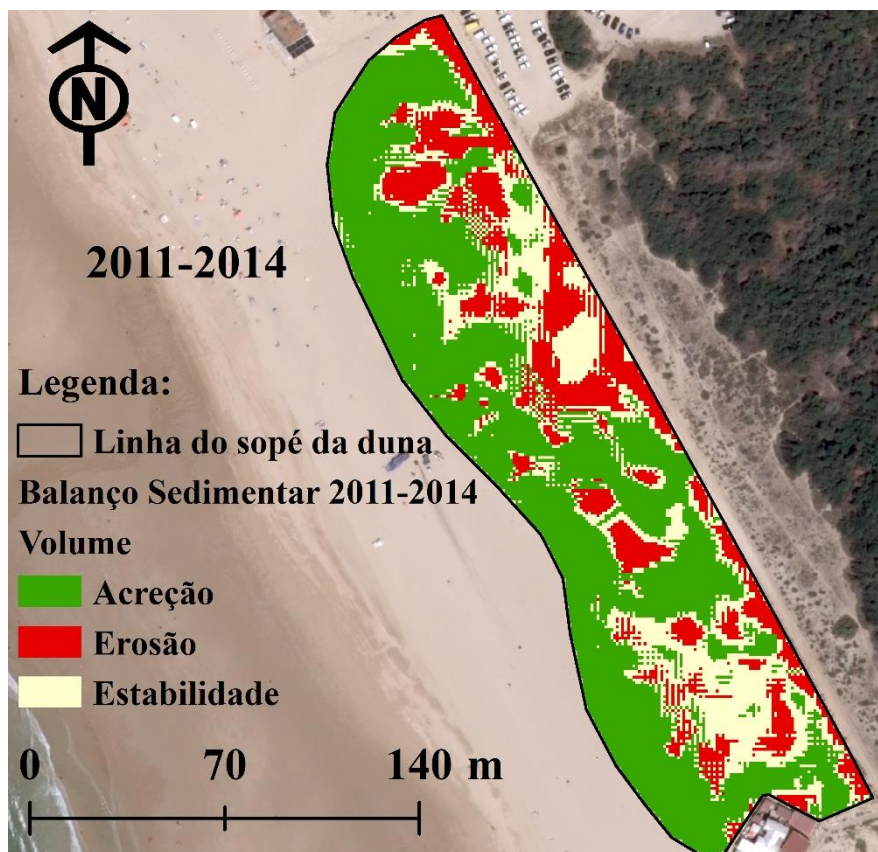
## Anexo 8. Balanço Sedimentar da duna da praia da Mata



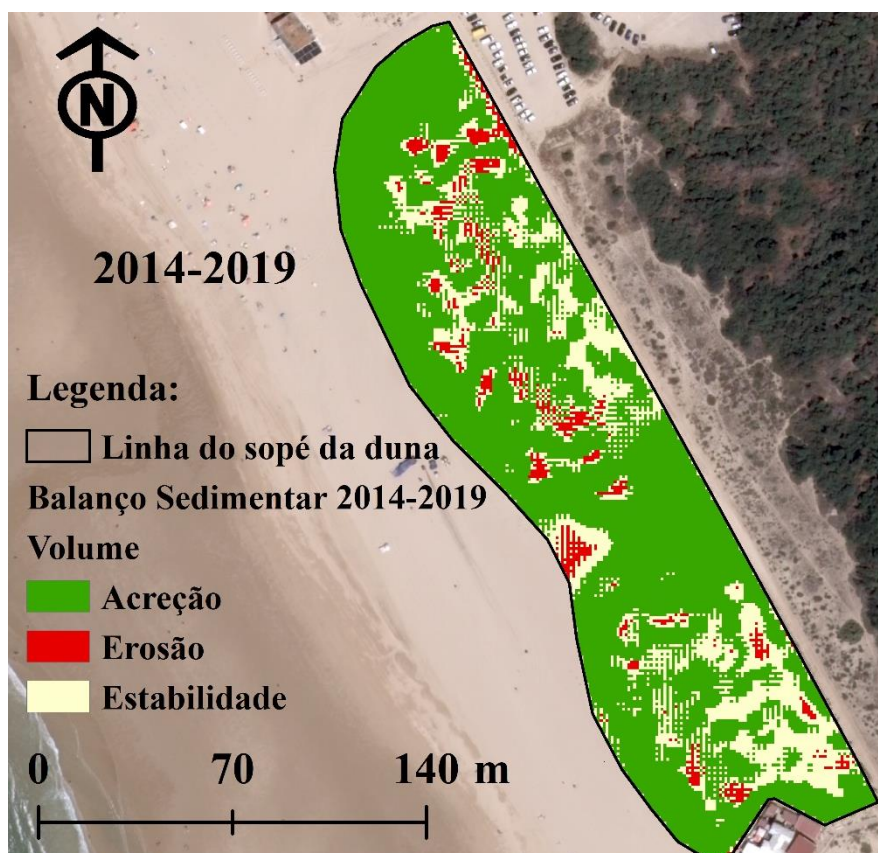
Anexo 8.1. - Balanço Sedimentar da duna da praia da Mata entre 2008 e 2019.



Anexo 8.2. - Balanço Sedimentar da duna da praia da mata entre 2008 e 2011.



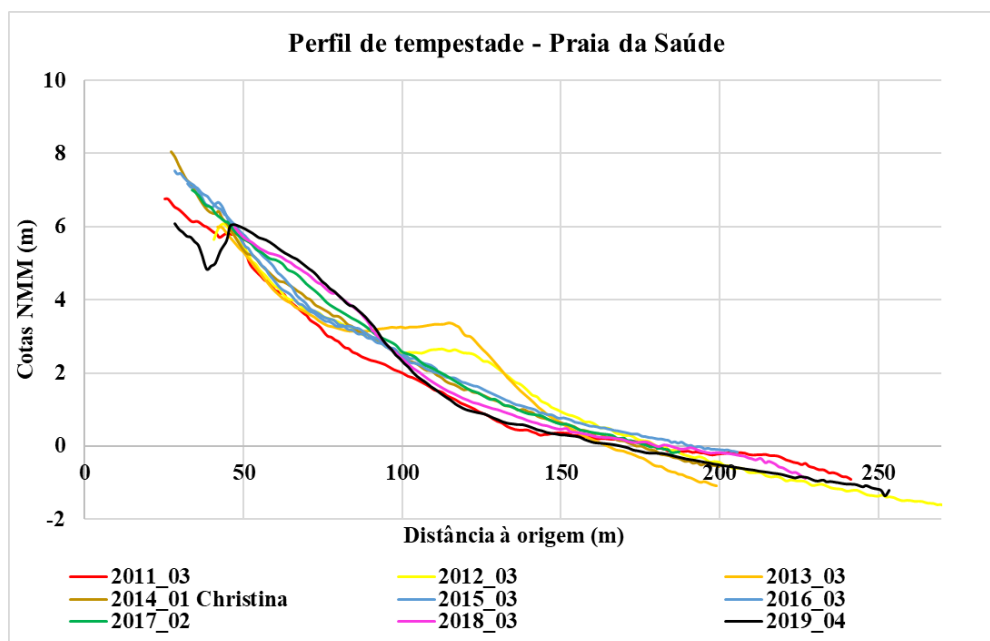
Anexo 8.3. - Balanço Sedimentar da duna da praia da Mata entre 2011 e 2014.



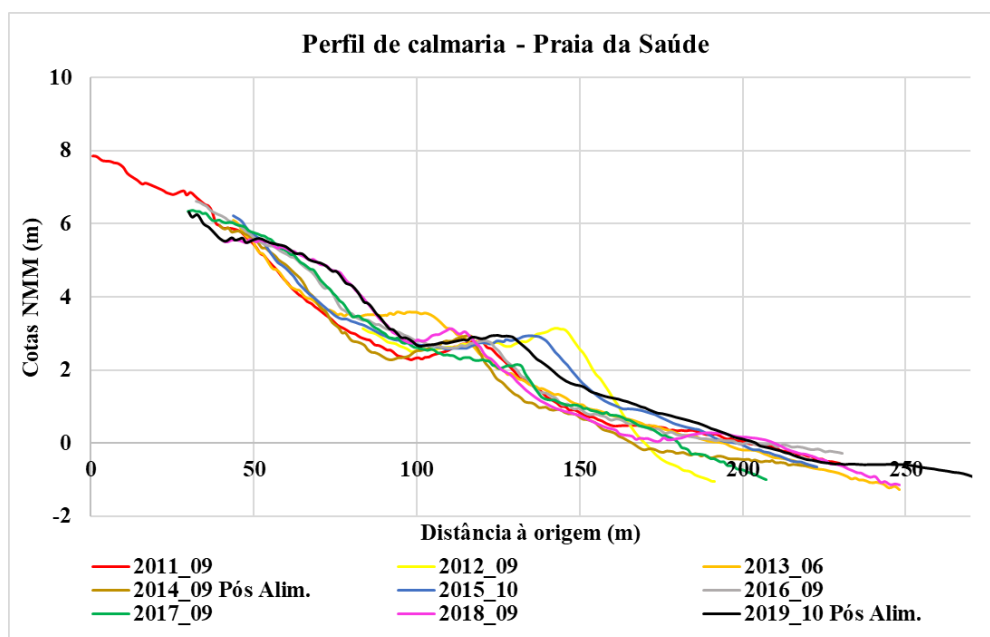
Anexo 8.4. - Balanço Sedimentar da duna da praia da Mata entre 2014 e 2019.



## Anexo 9. Perfis topográficos

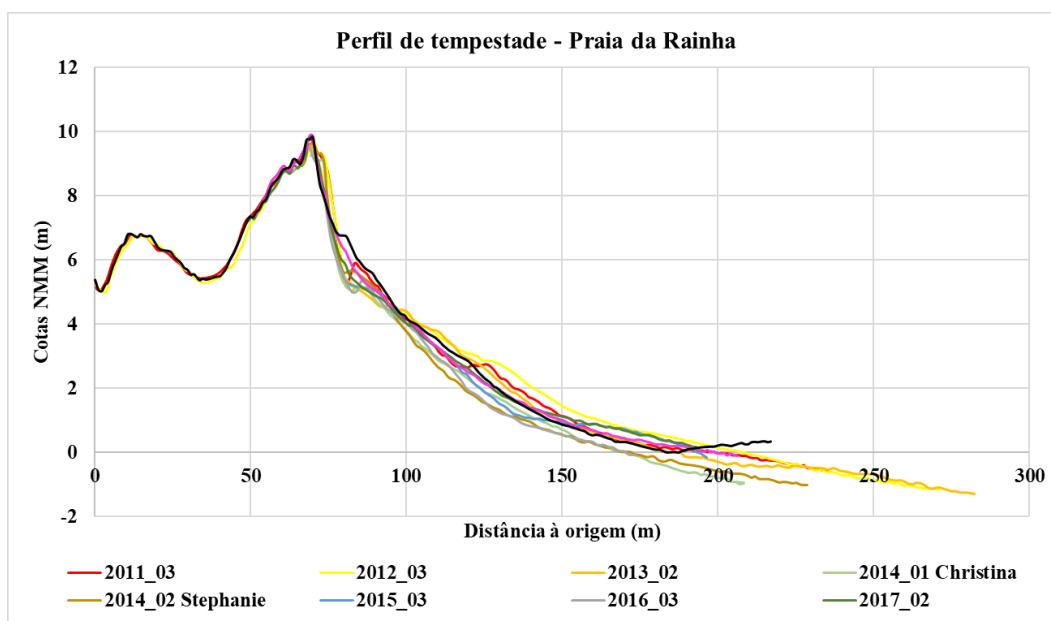


Anexo 9.1. - Perfil de Inverno da Praia da Saúde desde março de 2011 até abril de 2019.

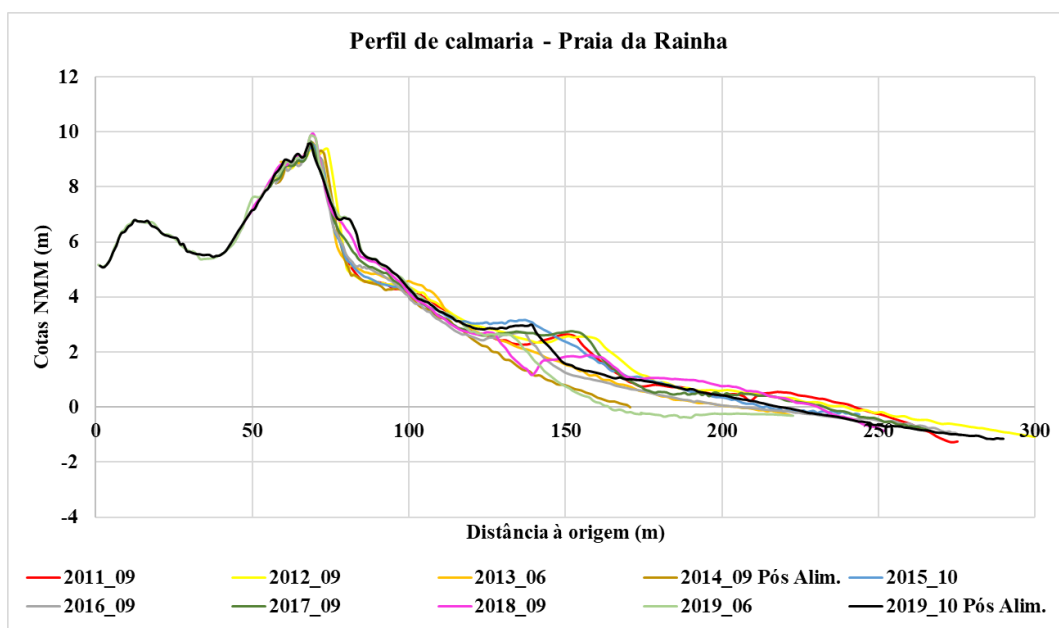


Anexo 9.2. - Perfis de verão da praia da Saúde desde setembro de 2011 até outubro de 2019.

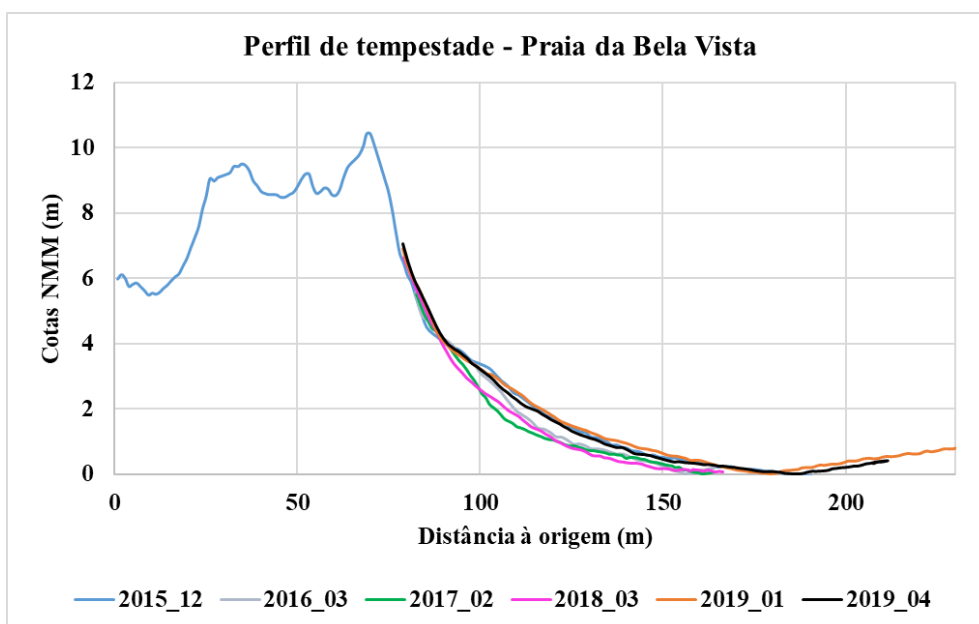




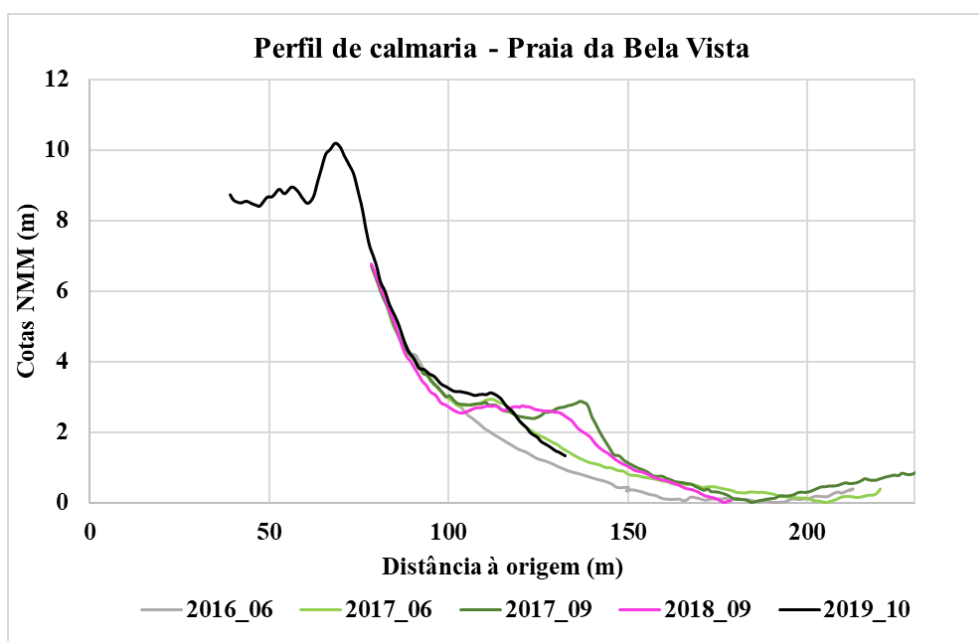
Anexo 9.3. - Perfis de inverno da praia da Rainha desde março de 2011 até abril de 2019.



Anexo 9.4. - Perfil de verão da praia da Rainha desde outubro de 2011 e outubro de 2019.



Anexo 9.5. - Perfis de inverno da praia da Bela Vista desde dezembro de 2012 a abril de 2019.



Anexo 9.6. - Perfis de verão da praia da Bela Vista desde junho de 2016 até outubro de 2019.

## Anexo 10. Volume de praia nas praias a sul da Caparica

Anexo 10.1. - Volume em m<sup>3</sup>/m de praia, nos intervalos 2010/2014 e 2014/2019. Cada período inicia-se após uma operação de recarga artificial das praias de toda a frente urbana da Caparica.

Data do levantamento	Praia da Saúde		Praia da Rainha		Praia da Bela Vista	
	Volume de praia (m <sup>3</sup> /m)	Diferença de volumes (m <sup>3</sup> /m)	Volume de praia (m <sup>3</sup> /m)	Diferença de volumes (m <sup>3</sup> /m)	Volume de praia (m <sup>3</sup> /m)	Diferença de volumes (m <sup>3</sup> /m)
27/03/2011	211		186			
02/09/2011	280	68	305	119		
11/03/2012	291	11	227	-77		
17/09/2012	211	-80	325	98		
28/02/2013	294	84	237	-88		
24/06/2013	315	20	254	17		
08/01/2014	249	-65	160	-94		
04/02/2014			196	36		
18/09/2014	237	-12	205	9		
24/03/2015	171	171	187	-18		
15/10/2015	322	86	297	110		
16/12/2015					156	
09/03/2016	254	-68	150	-148	136	-20
06/06/2016					137	1
20/09/2016	264	9	220	70	203	66
13/02/2017	225	-39	204	-16	116	-87
08/06/2017					179	63
22/09/2017	249	24	250	46	202	23
18/03/2018	201	-47	185	185	112	-91
08/09/2018	239	38	239	-11	186	75
25/01/2019					151	-35
09/04/2019	174	-65	172	-68	142	-10
01/06/2019			167	167		
01/10/2019	300	126	236	64	140	-1